

Série A, N° 2892
N° d'Ordre : 3763

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES
DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES PHYSIQUES

PAR

DANIEL BLANC

AGRÉGÉ DE L'UNIVERSITÉ

1^{ère} THÈSE : *Recherches systématiques sur les compteurs à cylindre de verre et surface conductrice externe. Application à l'étude de certaines particularités de la décharge de Geiger.*

2^{ème} THÈSE : *Propositions données par la faculté*

Soutenues le 19 Avril 1956 devant la Commission d'examen :

MM. F. PERRIN Président
H. NORMANT } Examineurs
P. AIGRAIN }

[1956]

FACULTE DES SCIENCES

Nom du candidat : BLANC

Prénom : Daniel

Date de la soutenance : 19 avril 1956

N° d'ordre : 3763

BLANC (Daniel)

Recherches systématiques sur les compteurs à cylindre de verre et surface conductrice externe. Application à l'étude de certaines particularités de la décharge de Geiger

FORT D'ISSY, Imprimerie du SDRB
1956, In-4°, 203 pages.

Th. Doc. ès Sc. Phys. Paris 1956
N° 3763

BLANC (Daniel)

Recherches systématiques sur les compteurs à cylindre de verre et surface conductrice externe. Application à l'étude de certaines particularités de la décharge de Geiger.

FORT D'ISSY, Imprimerie du SDRB
1956, In-4°, 203 pages

Th. Doc. ès Sc. Phys. Paris 1956
N° 3763

BLANC (Daniel)

Recherches systématiques sur les compteurs à cylindre de verre et surface conductrice externe. Application à l'étude de certaines particularités de la décharge de Geiger.

FORT D'ISSY, Imprimerie du SDRB
1956, In-4°, 203 pages

Th. Doc. ès Sc. Phys. Paris 1956
N° 3763

BLANC (Daniel)

Recherches systématiques sur les compteurs à cylindre de verre et surface conductrice externe. Application à l'étude de certaines particularités de la décharge de Geiger.

FORT D'ISSY, Imprimerie du SDRB
1956, In-4°, 203 pages

Th. Doc. ès Sc. Phys. Paris 1956
N° 3763

Série A, N° 2892
N° d'Ordre: 3763

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES
DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES PHYSIQUES

PAR

DANIEL BLANC

AGRÉGÉ DE L'UNIVERSITÉ

1^{re} THÈSE : *Recherches systématiques sur les compteurs à cylindre de verre et surface conductrice externe. Application à l'étude de certaines particularités de la décharge de Geiger.*

2^{ème} THÈSE : *Propositions données par la faculté*

Soutenues le 19 Avril 1956 devant la Commission d'examen.

MM. F. PERRIN Président
H. NORMANT } Examineurs
P. AIGRAIN }

THÈSES

2005, N° 2005
DE LA FACULTÉ DES SCIENCES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES
DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

SCIENCE PHYSIQUES

LE BRAS DE DOCTEUR EN SCIENCE PHYSIQUES

PAR

DAVID A. H. C.



Le Br. de Doct. en Sc. Phys. de l'Univ. de Paris
à l'Univ. de Leiden, le 10 Mars 1952.

Le Br. de Doct. en Sc. Phys. de l'Univ. de Paris

Le Br. de Doct. en Sc. Phys. de l'Univ. de Paris

Le Br. de Doct. en Sc. Phys. de l'Univ. de Paris
à l'Univ. de Leiden, le 10 Mars 1952.

FACULTE DES SCIENCES DE L'UNIVERSITE DE PARIS

Professeurs

Doyen J. PERES

G. JULIA	T Analyse supérieure et Algèbre supérieure	GALLIEN	T Embryologie
E. DARMOIS	T Enseignement de Physique	EICHHORN	T Biologie Vég. (P.C.B.)
R. LEVY	T Physiologie comparée	DE CUGNAC	Biologie Vég. (P.C.B.)
FOCH	T Mécanique physique et expérim.	Mie CAUCHOIS	T Chimie physique
PAUTHENIER	T Electrotechnique générale	THELLIER	T Physique du globe
DE BROGLIE	T Théories physiques	AUDUBERT	T Electrochimie
JOB	T Chimie générale	L'HERITIER	T Génétique
PRENANT	T Anatomie et Histol. comparées	GRIVET	T Radioélectricité
GARNIER	T Géométrie supérieure	PONCIN	T Mécanique des fluides
PERES	T Mécanique des fluides et applic.	THIRY	T Mécanique appliquée
LAUGIER	T Physiologie générale	DUBREIL	T Arith. et théorie des nombres
M. CURIE	T Physique (P.C.B.)	QUELET	T Chimie organique
BARRABE	T Géologie struct. & géol. applic.	CAGNIARD	T Géophysique appliquée
G. DARMOIS	T Calcul des prob. & Phys. Math.	CHAMPETIER	T Chimie macromoléculaire
J. BOURCART	T Géogr. Phys. & Géol. dynamique	CUVILLIER	T Géologie struct. et géol. appl
Mme JOLIO-CURIE	T Physique nucléaire & radioactiv.	JUNG	T Pétrographie
PLANTEFOL	T Botanique	TRILLAT	T Chimie physique
CABANNES	T Recherches physiques	WIEMANN	T Chimie (M.P.C.)
GRASSE	T Evol. des êtres organisés	JACQUINOT	T Spectroscopie et physique céleste
PREVOST	T Chimie organique	VASSY	Physique de l'atmosphère
BOULIGAND	T Application de l'analyse à la géométrie	DESTOUCHES	Théories physiques
CHAUDRON	T Chimie appliquée	M. PRUVOST	T Géologie
WYART	T Minéralogie	AMIEL	T Chimie (P.C.B.)
TEISSIER	T Zoologie	HOCART	T Minéralogie
MANGENOT	T Biologie végétale	J.P. MATHIEU	T Physique (P.C.B.)
P. AUGER	T Physique quantique & relativ.	COUTEAUX	T Biologie animale (P.C.B.)
MONNIER	T Physiologie des fonctions	MAY	Biologie animale (P.C.B.)
PIVETEAU	T Géologie	CHOQUET	T Calcul différ. & intégral
ROCARD	T Physique (E.N.S.)	FELDMANN	Biologie (P.C.B.)
H. CARTAN	T Mathématiques (E.N.S.)	GUINIER	T Physique (P.C.B.)
LAFFITTE	T Chimie générale	JOST	T Biologie (P.C.B.)
FAVARD	T Mécanique générale	FORTET	T Calcul des probabilités
COULOMB	T Physique du globe	SCHWARTZ	T Méth. Math de la physique
Mie COUSIN	T Biologie animale (P.C.B.)	CHOUARD	T Physiologie végétale
CHRETIEN	T Chimie minérale	MALAVARD	T Aviation
P. DRACH	T Zoologie	BRELOT	T Calcul différentiel
KASTLER	T Physique	NORMANT	T Chimie (P.C.B.)
EPHRUSSI	T Génétique	BENARD	Chimie (P.C.B.)
WURMSER	T Biol. Physico-chimique	BUVAT	Botanique (E.N.S.)
RIVIERE	T Géologie (S.P.C.N.)	DUGUE	T Statistiques mathématiques
GAUTHERET	T Biologie végétale (P.C.B.)	GELOSO	Chimie (S.P.C.N.)
LUCAS	T Physique	SOULAIRAC	T Psychophysiologie
A. THOMAS	T Biologie cellulaire	ULRICH	T Physiologie végétale
ARNULF	T Optique appliquée	MARECHAL	T Optique théorique et appl.
M. MORAND	T Physique	KIRRMANN	T Théories chimiques
SOLEILLET	T Physique	CHADEFAUD	Botanique
FORTIER	T Mécanique expér. des fluides	DESTRIAU	Physique (M.P.C.)
DANJON	T Astronomie	Mie Le BRETON	Physiologie générale
FROMAGEOT	T Chimie biologique	SALEM	Mathématiques générales
LAPORTE	T Phys. génér. et radioactiv.	ESCLANGON	T Physique (P.C.B.)
JANET	T Mécanique anal. & Méca. céleste	LELONG	T Mathématiques générales
PETIT	T Biologie maritime		
QUENEY	T Météor. et dyn. atmosphér.		

- o -

Secrétaire Général C.MONIER

A la mémoire de mon Père,

*Ancien Doyen de la Faculté des Sciences
de Caen*

A ma Mère

A ma Femme,

A ma Fille

A Monsieur Francis PERRIN,

Membre de l'Institut, Haut-
Commissaire à l'Energie Atomique,
Professeur au Collège de France

HOMMAGE DE PROFONDE GRATITUDE

INTRODUCTION

I - Depuis les travaux fondamentaux de E. RUTHERFORD et H. GEIGER (1), de H. GEIGER et W. MULLER (2), de A. TROST (3), (4), entre autres, les compteurs traditionnels à cathode interne métallique ont fait l'objet de nombreuses recherches. Les connaissances acquises permettent la réalisation de techniques de fabrication très sûres.

Par contre, toute théorie quantitative est délicate à établir, étant donné la complexité des phénomènes mis en jeu, et les recherches expérimentales sont les plus fructueuses. Le présent travail a été conduit dans le sens de l'expérimentation systématique.

Si, comme je le montrerai plus loin, il est possible d'établir un schéma qualitatif de fonctionnement dans l'ensemble satisfaisant, une étude bibliographique détaillée (5) prouve qu'il existe bien des points non élucidés. En particulier :

1° - La région de transition entre la zone de proportionnalité vraie et la zone de résolution caractérisée par la propagation totale de la décharge le long du fil, n'a pas été étudiée. Elle joue cependant un rôle important, les phénomènes fondamentaux de la zone de GEIGER y prenant naissance.

2° - La tension origine de la zone de résolution* introduite dans les théories quantitatives du fonctionnement, est définie d'une façon vague et assez arbitraire comme étant la base de la courbe de palier. Ceci nécessite une mise au point.

* C'est à dire pour laquelle le temps de résolution est bien défini.

3° - Certaines particularités, dûes aux effets de paroi : adsorption de la vapeur polyatomique, évolution du compteur après remplissage, effet thermique, demandent à être précisées.

4° - Le temps de vie utile du détecteur, c'est à dire le nombre total d'impulsions qu'il peut subir avant détérioration, peut avoir deux origines : des effets superficiels sur les parois, ou des phénomènes provenant du gaz de remplissage. Leur importance relative n'a pas été établie.

II - D'autre part, en 1946, R. MAZE (6) a décrit un nouveau modèle de compteur, à parois de verre et graphitage externe, de qualités remarquables et de prix de revient très faible.

Il existe très peu de renseignements concernant ce nouveau compteur, dont l'utilisation a été jusqu'ici pratiquement limitée à des recherches sur le rayonnement cosmique, où n'interviennent que des taux de comptage très modérés.

III - Je me suis donc proposé, dans cette étude :

1° - De déterminer le mécanisme de fonctionnement du compteur à graphitage externe dans les régions de proportionnalité limitée et de résolution.

2° - D'en déduire les conditions permettant de l'adapter à des taux de comptage aussi élevés que possible, pour élargir son domaine d'utilisation.

3° - D'établir la technique optimum de fabrication.

4° - D'utiliser les connaissances ainsi acquises à découvrir et expérimenter de nouveaux remplissages, plus avantageux ou plus pratiques.

5° - D'appliquer la grande stabilité, l'homogénéité et la robustesse de la surface cathodique du compteur à graphitage externe à l'étude des points obscurs de fonctionnement énumérés au paragraphe I.

6° - De généraliser les résultats obtenus, chaque fois que cela est possible, au cas des cathodes internes, en réalisant des expériences complémentaires sur des compteurs du type classique.

IV - Pour que l'exposé de ce Mémoire en soit allégé, je tracerai d'abord succinctement les grandes lignes du mécanisme de la décharge pour un compteur contenant une vapeur organique, et une tension de la zone de résolution.

Une partie de la théorie établie pour les compteurs à coupure externe (gaz mono ou di-atomiques) par C.G. MONTGOMERY et D.D. MONTGOMERY (7) est valable pour les compteurs autocoupeurs (gaz mono ou diatomique + vapeur polyatomique). Les travaux de P. WEISZ (8) puis de S.A. KORFF et R.D. PRESENT (9) ont éclairci le rôle joué par le constituant polyatomique.

Le fait fondamental réside en ce que la molécule polyatomique possède une grande probabilité de prédissociation à partir d'états électroniques excités : elle présente en effet un spectre d'absorption diffus dans l'ultra-violet, région intéressant le fonctionnement du compteur. Ce point a été récemment précisé par R. MEUNIER (10), (11).

La particule ionisante à détecter produit un certain nombre de paires d'ions à l'intérieur du volume sensible du compteur et l'avalanche de TOWNSEND en résultant se déclenche au voisinage immédiat du fil anode. Les processus suivants ont lieu successivement :

1° - Coupure de l'avalanche initiale. Elle dure un temps de 10^{-6} seconde après formation des ions primaires. La gaine ionique positive formée autour du fil est supposée immobile, la mobilité des ions étant plusieurs milliers de fois plus faible que celle des électrons.

A - Coupure des photons émis par le gaz rare. Ils sont absorbés par les molécules organiques, qui se décomposent sans rayonner. L'émission de photoélectrons sur la cathode, très importante dans le cas des compteurs non-autocoupeurs serait ainsi évitée. Les photons sont responsables de la propagation de la décharge tout le long du fil; le mécanisme de cette propagation est encore discuté. Selon D. VAN ZOONEN (12), les photons émis par le gaz rare (argon, dans la plupart des cas) seraient d'abord réabsorbés par lui, l'atome absorbant parvenant ainsi à un état excité : un tel atome pourra ioniser par choc une molécule polyatomique. Cette hypothèse est étayée par les expériences antérieures de S.H. LIEBSON (13), (14).

B - Coupure électrostatique. Comme dans le cas des compteurs non-autocoupeurs, la gaine d'ions positifs formée autour du fil abaisse l'intensité du champ électrique au voisinage du fil à une valeur insuffisante pour maintenir des avalanches de TOWNSEND. Ce fait explique la modification brusque des propriétés du compteur observée lorsque la charge électrostatique portée par le fil devient inférieure à la charge électrique portée par cette gaine ionique. Pour une différence de potentiel anode-cathode donnée, le nombre d'ions nécessaire par décharge pour produire cette coupure a une valeur déterminée, le nombre total de molécules organiques et d'atomes du gaz rare ionisés présents dans la gaine positive est alors constant, et de l'ordre de 10^9 à 10^{10} pour un compteur de dimensions courantes.

2° - Coupure de l'émission secondaire. La gaine positive, soumise à l'action du champ électrique, se déplace vers la cathode, et y parvient en un temps de l'ordre de 10^{-4} seconde.

A - Dans le gaz a lieu le transfert d'électrons. Le potentiel d'ionisation du constituant polyatomique doit être plus faible que celui du gaz rare : un électron peut être transféré par choc d'une molécule polyatomique à un ion du gaz rare. L'excès d'énergie se traduit par l'émission d'un photon absorbé par le constituant polyatomique. Ce transfert est total, et il n'arrive sur le cylindre que des ions polyatomiques. Si le potentiel d'ionisation du gaz rare est le plus faible, le transfert se produit en sens inverse : aucun ion polyatomique n'atteint le cylindre, l'émission secondaire n'est pas arrêtée et le compteur n'est pas autocoupeur. C'est le cas des mélanges méthane-xénon (9).

B - Quand les ions polyatomiques parviennent à environ $10 \text{ \AA}$ de la surface de la cathode, il y a neutralisation par des électrons extraits du métal. Soit I le potentiel d'ionisation du constituant polyatomique, φ le travail d'extraction du cylindre : la molécule neutralisée possède l'énergie d'excitation $I - \varphi$.

C - Elimination de l'énergie d'excitation. Elle peut s'opérer par les processus suivants :

1) - **Décomposition de la molécule.** La vie moyenne de la molécule pour ce processus est de l'ordre de 10^{-13} seconde. Le temps mis

par elle pour atteindre la surface du cylindre est de l'ordre de 10^{-12} seconde (15); la probabilité de décomposition est pratiquement égale à l'unité : une molécule sur 10^9 pourra atteindre le cylindre avant de se décomposer. Dans le cas défavorable où $I - \varphi$ est supérieur à φ , ceci rend insignifiant le processus d'éjection d'électrons secondaires depuis le cylindre car, même si la molécule atteint la cathode, c'est à dire se trouve dans le domaine des forces de VAN DER WAALS, l'éjection d'un électron (ou l'émission d'un photon) sont encore moins probables que la décomposition.

2) - Emission d'un photon. La vie moyenne de la molécule pour ce processus est de l'ordre de 10^{-7} seconde : une molécule sur 10^6 rayonnera au lieu de se décomposer. L'efficacité photoélectrique des cathodes usuelles étant de l'ordre de 10^{-4} électron par photon, l'émission secondaire qui résulte de ce processus est de un électron pour 10^{10} ions incidents. On peut adopter cette valeur pour représenter l'émission secondaire totale. La recombinaison de certains de ces électrons secondaires avec des ions arrivant sur le cylindre réduit encore la probabilité d'une nouvelle avalanche.

Récemment, H.L. WISER et A.D. KRUMBEIN (16) ont déterminé l'importance relative de l'émission électronique secondaire et des états métastables des atomes et des molécules du gaz dans la formation d'impulsions parasites, pour des tensions de fonctionnement prises au-dessus du palier.

PREMIERE PARTIE

Chapitre 1

ANALYSE DES TRAVAUX ANTERIEURS CONCERNANT LES COMPTEURS A PAROIS DE VERRE & GRAPHITAGE EXTERNE

1 - R . M A Z E (1946), (6), (17) -

En 1941, l'étude de la fabrication de compteurs de GEIGER-MULLER à hydrogène conduisit à adopter du verre blanc ordinaire, d'épaisseur comprise entre 0,6 et 0,8 mm, sans couche interne conductrice, la surface extérieure étant seule recouverte de graphite colloïdal. Ce procédé fut par la suite généralisé au cas des remplissages autocuiseurs. Le modèle décrit par R. MAZE est représenté dans la figure 1 : le fil, du côté queuezot, est isolé par un crin de nylon, lui-même noué sur une petite pièce en forme de U. On graphite extérieurement à proximité du passage en reliant cette partie au fil sortant; l'espace intermédiaire est paraffiné après séchage pour éviter la conductibilité de surface.

Le pompage ne comporte aucun étuvage, qui joue un rôle très néfaste sur les qualités du compteur.

Le compteur ainsi réalisé possède un palier remarquablement long et une grande stabilité. R. MAZE attribue ce fait à ce que les photons ultra-violets émis près de la coque par la neutralisation et l'excitation des ions positifs (voir plus haut) et non absorbés par la vapeur organique, pénètrent, dans le cas du verre, en profondeur : ceci réduirait la probabilité de sortie des électrons secondaires. D'autre part, il n'y a probablement pas d'électron de FERMI sur la surface interne du verre.

Le verre se charge intérieurement de façon aussi uniforme que s'il existait une couche conductrice, et le schéma équivalent est celui

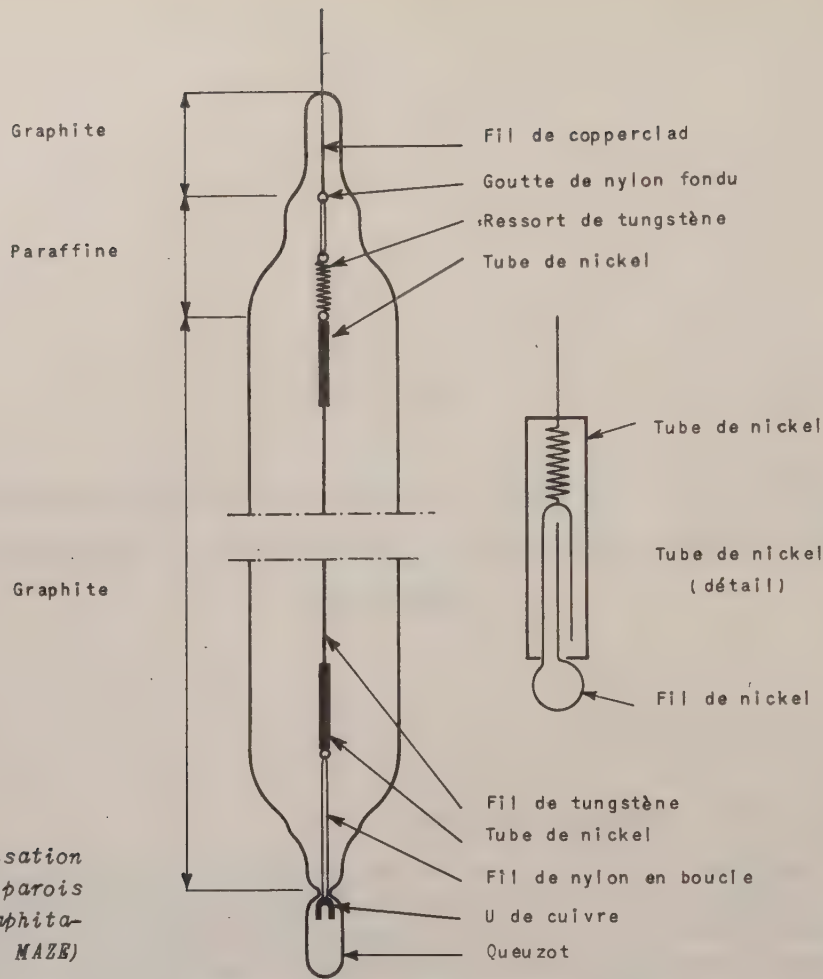


Figure 1 -
Première réalisation
de compteur à parois
de verre à graphita-
ge externe (R. MAZE)

d'un tube normal
dont la cathode
est reliée à la
masse par un cir-
cuit (résistance
 R_1 - capacité C_1)
(Figure 2)

Pour une tension
donnée où la char-
ge par impulsion
a la valeur q et
un taux de comp-
tage de N par
seconde, le po-
tentiel interne v
prendra par rap-
port à la masse
la valeur positi-
ve :

$$v = N q R_1$$

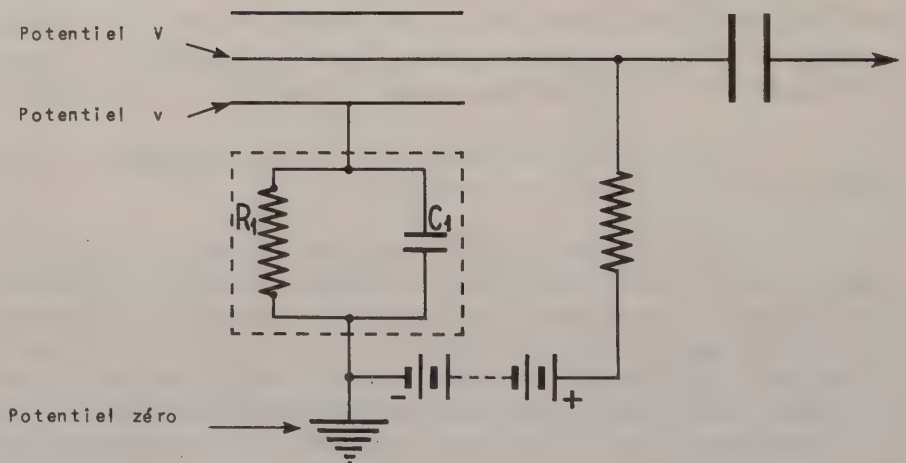
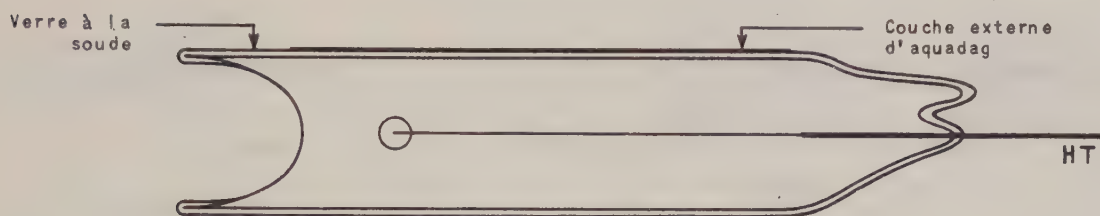


FIGURE 2 - Schéma équivalent à un compteur à coque de verre -

2 - J.T. LLOYD (1948), (18) -

Les compteurs de R. MAZE, destinés à des recherches sur le rayonnement cosmique, ont une épaisseur de paroi trop grande pour être sensibles aux rayons alpha et beta. J.T. LLOYD a réalisé, par soufflage, des fenêtres en verre très mince placées latéralement ou en bout du compteur. L'épaisseur minimum réalisée est de 0,25 milligramme par centimètre carré (figure 3).

FIGURE 3 - Compteur à fenêtre de J.T. LLOYD (1948), (18)



3 - D. BLANC et M. SCHERER (1949), (19) -

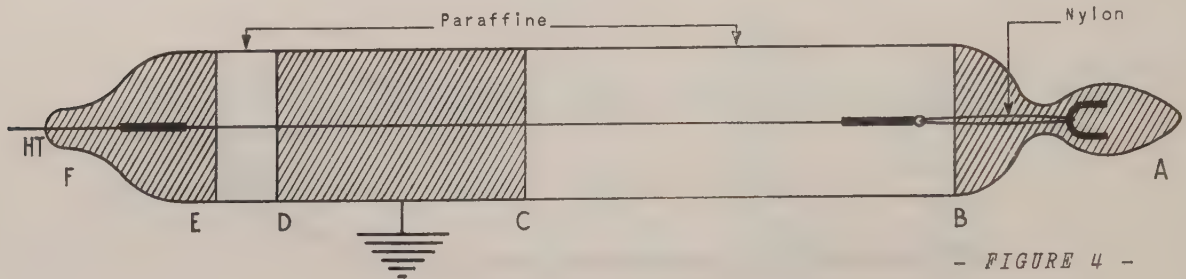
Le compteur du modèle MAZE possède une longueur efficace mal définie, principalement du côté queuezot. Il n'en résulte aucun inconvénient lorsque ce compteur est utilisé dans des dispositifs de coïncidences pour déclencher une chambre de Wilson par exemple. Par contre, cette particularité est des plus gênantes lorsque le détecteur est utilisé d'une façon autonome, et en vue de mesures précises. De plus, les extrémités sont mal défendues contre les impulsions parasites pouvant résulter d'irrégularités de la surface du cylindre de nickel et des jonctions nickel-tungstène et nickel-nylon, placées à la haute tension (figure 1).

Introduire autour du fil des électrodes de garde rendrait la construction très délicate, ce qui enlèverait à ce nouveau compteur une partie de sa supériorité.

Ce problème peut être résolu d'une façon beaucoup plus simple : pour déterminer la longueur efficace, nous avons, sur un même compteur, modifié la longueur graphitée du cylindre CD (figure 4), AB étant graphitée et l'intervalle BC paraffiné pour éliminer toute conductibilité superficielle. La courbe (1) de la figure 5 représente - AB étant isolé et CD placé au sol - le nombre d'impulsions par minute en fonction de la longueur CD, pour une surtension de 60 volts, le compteur étant placé dans un flux radioactif uniforme. La courbe (2) donne le résultat obtenu dans les mêmes conditions, l'extrémité AB se trouvant cette fois placée au sol.

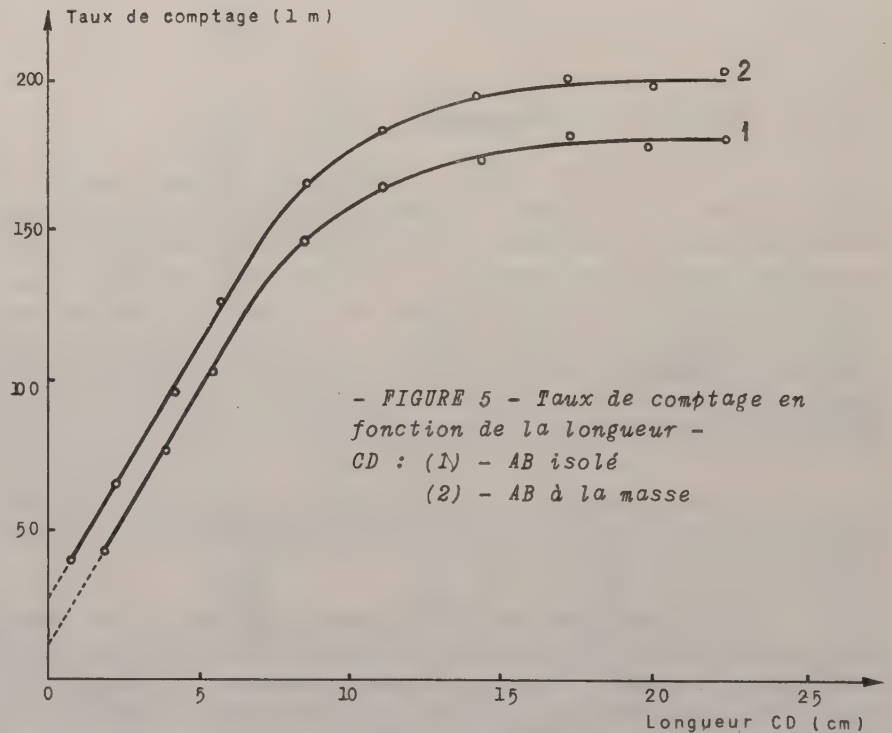
Lorsque AB se trouve à la masse, la contribution de l'extrémité du compteur au taux de comptage est de 16 impulsions par minute. Ce chiffre est hors de proportion avec le nombre de particules traversant le compteur dans cette région, et l'effet observé est dû à des impulsions parasites.

Lorsque AB est isolé, cette section se charge progressivement, jusqu'à ce que l'effet parasite disparaisse. Il subsiste cependant un effet résiduel, comme le montre la courbe (1). Dans les deux cas, la longueur efficace est mal définie.



- FIGURE 4 -

Pour pallier cet inconvénient, la disposition des sections graphitées a été modifiée conformément à la figure 6 : les deux extrémités du cylindre AB et EF sont portées à la haute tension, la région intermédiaire CD restant à la masse. Les intervalles BC et DE sont paraffinés: ils peuvent être assez étroits, le verre "novo" utilisé ici n'ayant pas une conductibilité très grande. La longueur efficace est beaucoup



- FIGURE 5 - Taux de comptage en fonction de la longueur -
CD : (1) - AB isolé
(2) - AB à la masse

mieux définie et, pour CD assez long, coïncide pratiquement avec la section placée à la masse. On améliore, de plus, la longueur et la qualité du palier.

Cette question appelle cependant des expériences complémentaires (20), que je décrirai plus loin, dans le cas où une connaissance plus précise du volume efficace est nécessaire.

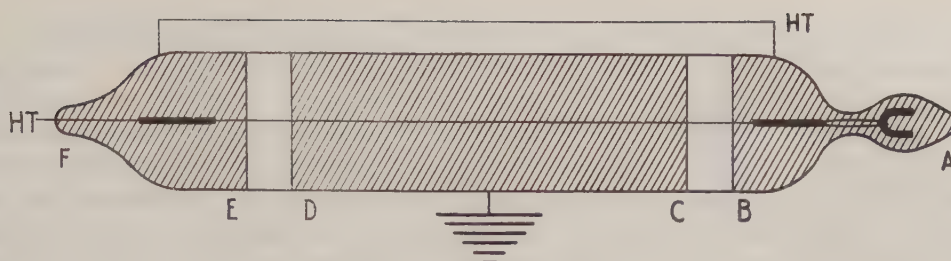


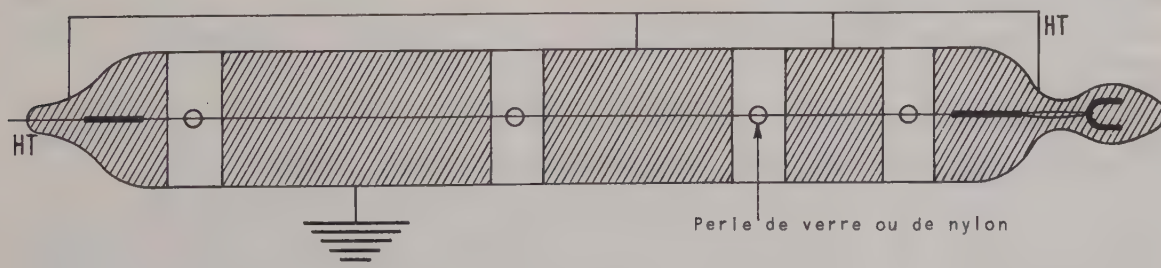
FIGURE 6 - Modification des sections graphitées d'un compteur à coque de verre

L. CARLBOM et C. TAYLOR (1952) (21), ont signalé des perturbations introduites dans le volume efficace par les électrodes de garde en verre sodique qui entourent souvent l'anode de compteurs à cathode interne courants. Ils ont retrouvé des effets parasites voisins de ceux qui viennent d'être décrits. Ces électrodes de garde, placées dans la région irradiée, se chargent progressivement; il en résulte une diminution dans le temps de la longueur efficace. Non irradiées, elles parviennent par conduction à un potentiel voisin de celui du cylindre, ce qui provoque des impulsions parasites. Des électrodes de garde métallisées et placées à la haute tension éliminent ces inconvénients.

4 - D. BLANC (1949), (22), (23) -

Partant du schéma de la figure 6, il est aisé de fabriquer des compteurs à fil perlé: le principe en est le même que pour les détecteurs usuels, mais le fil de tungstène porte, à intervalles réguliers, de fines perles de nylon (figure 7); la région du cylindre en regard de chaque perle est paraffinée, les sections intermédiaires étant graphitées. Chaque section du fil comprise entre deux perles fonctionne avec la zone graphitée en regard comme un compteur isolé, si l'on place toutes les autres sections du cylindre à la tension du fil, chaque perle ayant pour rôle d'arrêter la propagation de la décharge et de délimiter la longueur efficace (24). De tels compteurs sont supérieurs aux appareils classiques dans la détection des rayons X (25).

FIGURE 7 - Compteur à cathode multiple et fil perlé (22)



Dans le compteur ainsi réalisé, chaque section graphitée du cylindre peut fonctionner sans que la décharge n'atteigne les autres, et ce dispositif est bien adapté à l'étude du temps de vie en nombre d'impulsions des compteurs à coque de verre. J'ai étudié des remplissages méthane et méthane-argon : la vie limitée (6.10^7 à 2.10^8 impulsions) est due à des dépôts d'hydrocarbures sur les parois internes; la pression du gaz ne varie pas de façon sensible; l'augmentation du fond et l'élévation du seuil de GEIGER en résultant proviennent uniquement des modifications superficielles du cylindre.

Des remplissages de méthane pur (40 à 57 cm de mercure) ont été repris récemment par I. KUMABE et M. SONODA dans des compteurs à coque de verre utilisés dans la région proportionnelle : leurs caractéristiques sont plus stables que celles des compteurs à cathode interne (26).

5 - P. BASSI et E. BERETTA (1949), (27) -

L'étude effectuée par ces auteurs est une confirmation des résultats obtenus par R. MAZE. Leur travail précise l'intensité de l'émission secondaire sur la paroi interne du cylindre et fait suite à des recherches concernant des cathodes métalliques (28). Les compteurs, du modèle MAZE (figure 1), sont dégazés sous vide et à chaud (température non précisée) durant plusieurs dizaines d'heures, avant remplissage. Il convient de noter que ce procédé d'étuvage, qui détruit les couches d'eau adsorbées sur la paroi, risque d'entraîner des modifications superficielles du cylindre difficilement contrôlables.

La mesure directe de l'émission secondaire électronique sur le cylindre - selon la méthode de J.L.PUTMAN (29) - montre que cette émission est appréciable, bien que moins intense que sur les cathodes métalliques.

Les remplissages d'hydrogène pur, non autocoupeur, présentent cependant un palier notable pour des résistances anodiques de 10^6 à 10^7 ohms, parce que tout début de décharge continue est interrompu par l'élévation du potentiel interne du cylindre de verre: il en résulte un temps de résolution de l'ordre de 0,1 seconde (verre sodique), défini par la constante de temps de décharge de la surface interne; de tels remplissages n'ont de ce fait aucun intérêt pratique.

L'existence de ce potentiel cathodique interne limiterait, d'après ces auteurs, l'emploi des compteurs autocoupeurs à parois de verre et graphitage externe à des mesures de basses intensités, de l'ordre de 2 ou 3 particules par centimètre carré, par minute et par unité d'angle solide.

6 - R. FAVRE et C. HAENNY (1949 - 1953), (30), (31) -

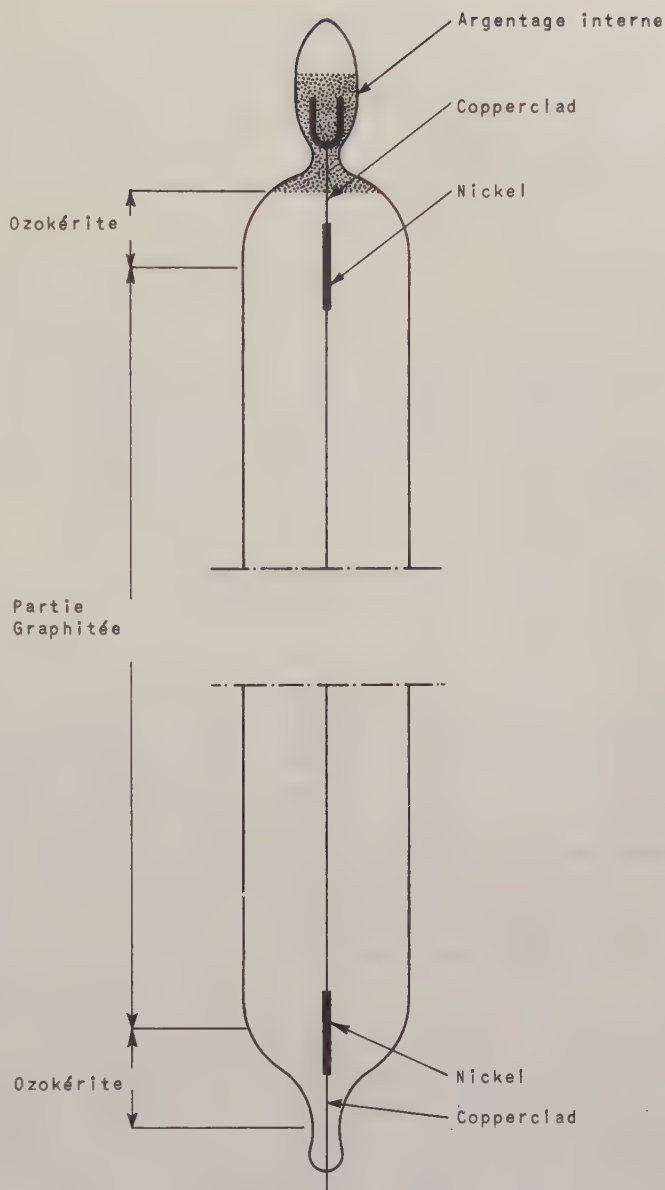
Dans un article publié en 1953 (31), ces auteurs décrivent leurs procédés de fabrication, pour des compteurs destinés à l'étude du rayonnement cosmique. Le montage de l'anode diffère peu de celui

proposé par R. MAZE. Reprenant l'étude antérieure de D. BLANC et M. SCHERER (19), ils remplacent le brin de nylon par un fil de copperclad, ce qui permet le dégazage du fil, et ils argentent la partie interne du cylindre en contact avec l'amarre en forme de U du queuzot (figure 8).

Les compteurs sont dégazés sous vide par chauffage au chalumeau. La figure 8 montre qu'il subsiste sur la longueur efficace de la cathode une indétermination considérable, et que des impulsions parasites peuvent survenir si les tubes de nickel terminaux ne sont pas soigneusement usinés.

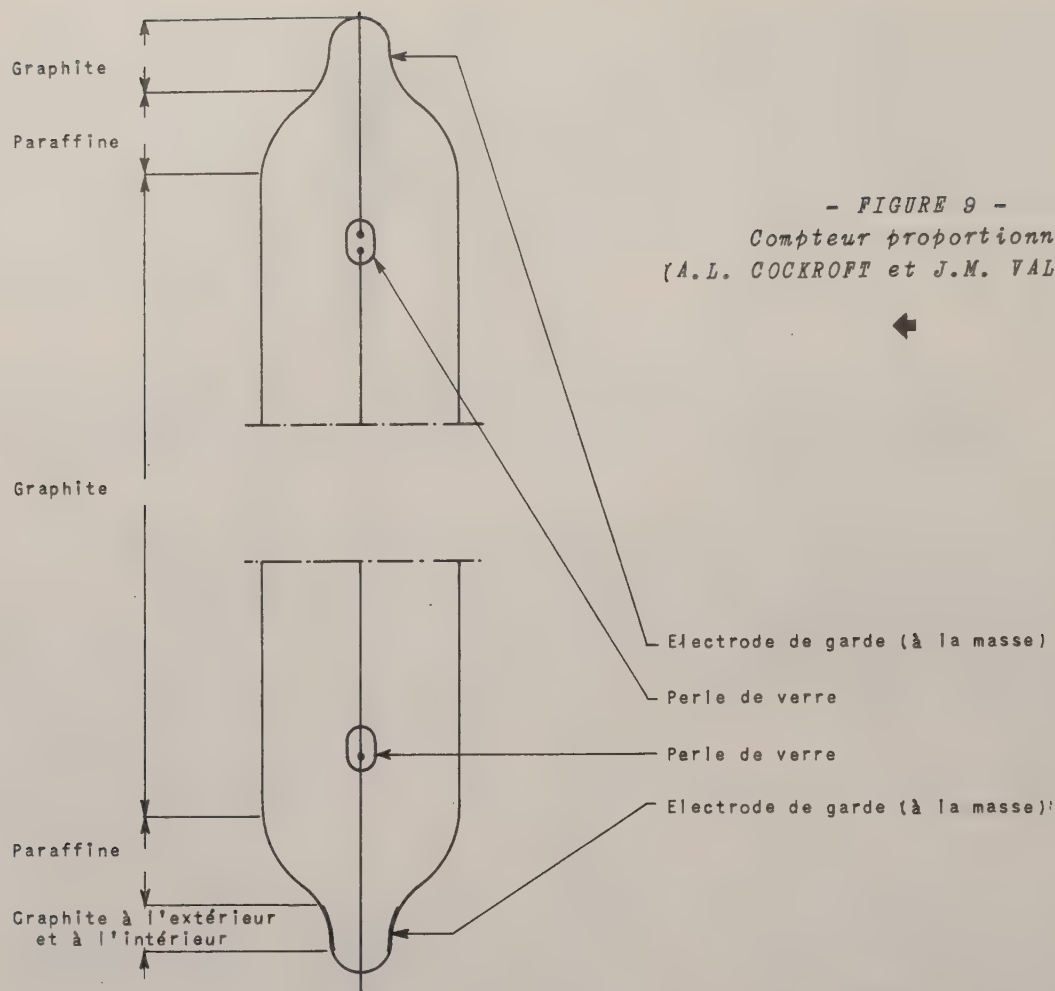
**7 - A.L. COCKROFT et
J.M. VALENTINE (1950)(32)**

Les expériences décrites ont trait à des compteurs proportionnels et des chambres d'ionisation destinées à contenir des remplissages radioactifs ou chimiquement actifs. Cette étude n'est donc citée que pour mémoire. Les détecteurs utilisés sont représentés dans les figures 9 et 10 : leur construction, très soignée étant donné les faibles courants à détecter, apporterait des complications inutiles pour le fonctionnement dans la zone de résolution. L'enveloppe de verre ne perturbe par les résultats pour des courants allant de 10^{-12} à 10^{-11} ampère. Cependant, le potentiel de la surface interne d'une chambre d'ionisation construite en verre Pyrex, peu conducteur, change progressivement par accumulation de charges.

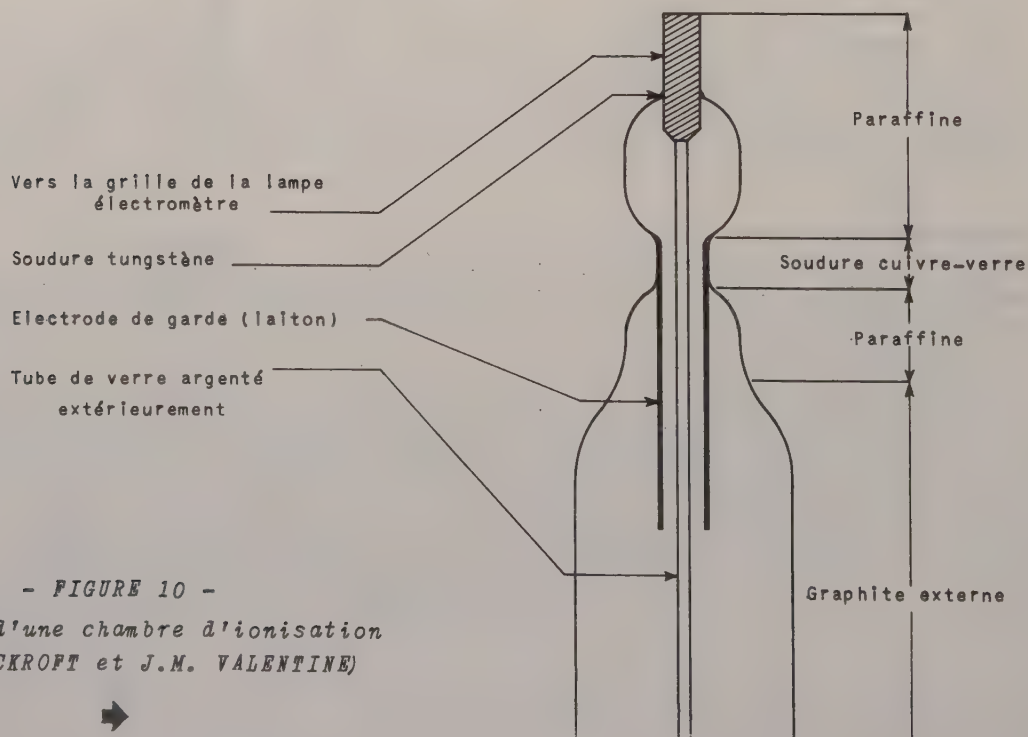


- FIGURE 8 -

Compteur du modèle proposé par R. FAVRE et
C. HAENNY



- FIGURE 9 -
Compteur proportionnel
(A.L. COCKROFT et J.M. VALENTINE)



- FIGURE 10 -
Extrémité d'une chambre d'ionisation
(A.L. COCKROFT et J.M. VALENTINE)

8 - M. SCHERER et E. VIEILLE (1950), (33) -

Les expériences de J.D. GRAGGS et A.A. JAFFE (34) sur la propagation de la décharge le long du fil sont reprises à l'aide de compteurs à parois de verre du type décrit plus haut (22). La propagation est assez voisine (mais cependant plus forte) que celle observée par GRAGGS et JAFFE.

9 - G. BARRERE (1950), (35), (36) -

Des compteurs du modèle MAZE, fermés en bout par un disque de polystyrène collé au verre et portant une fente de 2×18 mm fermée par une pellicule étanche de cellophane sont d'excellents détecteurs pour rayons X. Le remplissage est constitué d'éther et de xénon, qui présente un coefficient d'absorption pour les rayons X supérieur à celui de l'argon.

Cette étude n'apporte pas de renseignements nouveaux sur le mécanisme de fonctionnement de ces compteurs.

10 - M. YASIN, R. AHMED et P.S. GILL (1950), (37) -

Des compteurs à graphitage externe en verre dur, peu conducteur, ont été réalisés. Les paliers sont très longs, mais la tension de seuil augmente rapidement avec le taux de comptage.

On ne précise pas leur mécanisme de fonctionnement et j'expliquerai, dans le cours de ce Mémoire, les résultats obtenus par ces auteurs.

11 - P. ROTHWELL (1950-1951), (38) (39) -

Cette étude, relative à des compteurs proportionnels à coque de verre, montre que leur stabilité est aussi bonne que celle des détecteurs classiques. Cet auteur utilisait une épaisseur de paroi de 0,5 mm et un remplissage de CO_2 (10%) et argon (90%), sous la pression de 30 cm de mercure (38).

Pour déterminer les fluctuations dans la perte d'énergie d'électrons rapides à l'intérieur d'un compteur proportionnel, il utilise un compteur de 5,5 cm de diamètre, présentant deux fenêtres de mica de part et d'autre d'un diamètre. Les remplissages utilisés sont des mélanges de krypton et de méthane (52,2 cm de mercure + 3 cm et 60 cm + 10 cm), d'argon et de gaz carbonique (52 cm de mercure + 4,8 cm et 56 cm + 6,4 cm) (39).

12 - J. LABEYRIE (1951), (40) -

Réalisation d'un compteur photosensible à parois de verre d'efficacité élevée pour les UV, avec un dépôt interne de ferro-nickel. Le seuil est de 3600 Å, l'efficacité de une impulsion pour 1000 photons.

13 - G. FAUNY, M. FAUNY, M. SCHERER (1951), (41) -

Essai d'utilisation d'un halogène dans les compteurs à parois de verre. Le remplissage est constitué de néon (200 mm de mercure), d'argon (0,20 mm de mercure) et de chlore (0,05 mm de mercure). Le palier, long de 50 volts, a une pente réduite. Le seuil est de 280 volts. Aucun renseignement n'est donné sur la stabilité dans le temps de tels détecteurs.

14 - M.L. MAC-KNIGHT, R.L. CHASSON - (1951), (42) -

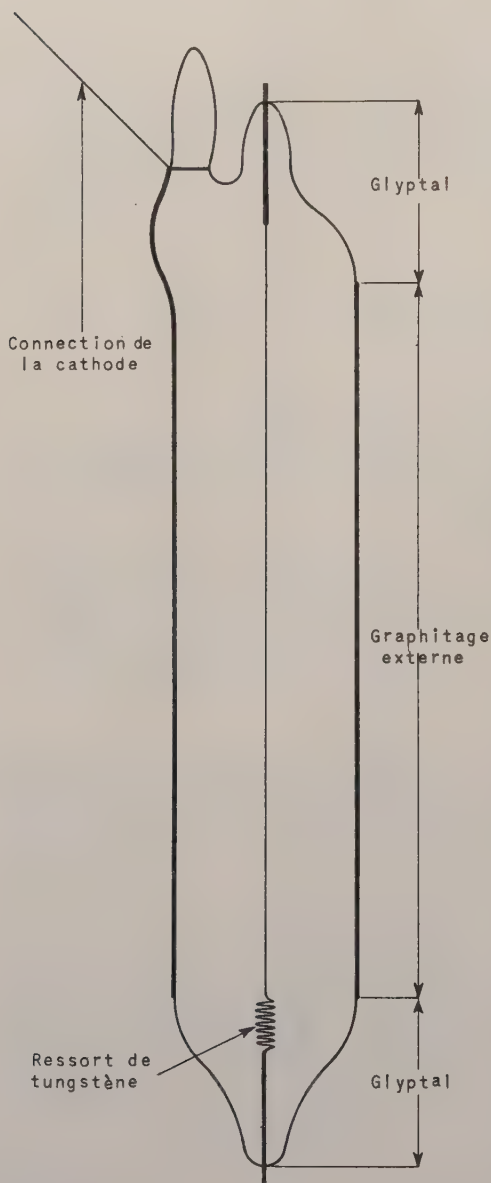
Ces auteurs décrivent, dans une courte note technique, un nouveau modèle de compteur (figure 11). Les compteurs sont préalablement étuvés sous vide à 150°C. Le fil anode comporte deux sorties. Le rendement de fabrication atteint 94 %.

15 - R.O. JENKINS et R.W. TAYLOR, (1952) (43)

Ce travail fait suite au précédent (42). L'étuvage, contrairement aux conclusions de MAC-KNIGHT et CHASSON, dégraderait les qualités du compteur. D'excellents résultats sont obtenus en utilisant comme agent autocoupeur le formiate d'éthyle, sous la pression de 1 cm de mercure: les paliers sont de 600 volts avec une pente de 3% par 100 volts. L'utilisation d'halogène est impossible d'après ces auteurs, à cause de sa combinaison avec le sodium libre du verre: au bout d'un certain temps, le mélange cesserait d'être autocoupeur.

16 - B. GROSS et A. ARON (1951-1952) - (44), (45), (46) -

On décrit la technique de construction adoptée à l'Institut de Technologie de Rio-de-Janeiro. Les résultats antérieurs de MAZE sont confirmés. En particulier fut construit un compteur "tout-verre" dont l'anode est formée d'un tube capillaire rempli de liquide conducteur (47). Sur le même principe furent réalisées des chambres d'ionisation constituées par deux sphères concentriques, la sphère interne étant argentée sur sa surface intérieure



- FIGURE 11 -

Compteur à graphitage externe de M.L. MAC-KNIGHT et R.L. CHASSON

et la sphère externe recouverte d'aquadag à l'extérieur. En prenant certaines précautions d'isolement, il est possible de mesurer des courants d'ionisation de l'ordre de 10^{-14} ampère.

17 - H. SCHWARZ (1952), (48), (49), (50) -

H. SCHWARZ a développé une étude entreprise par A. ARON (51) sur la photosensibilité des compteurs à parois de verre. Tous les compteurs étudiés étaient dégazés avant remplissage.

L'auteur distingue deux catégories de compteurs :

- 1° - Ceux qui sont photosensibles dès le début de leur utilisation.
- 2° - Ceux qui deviennent photosensibles après une certaine durée de fonctionnement. (10^7 impulsions et plus).

Les compteurs du premier groupe seraient moins dégazés que ceux du second.

La photosensibilité aurait deux origines : la présence d'oxygène et de vapeur d'eau dans le gaz, et des effets de paroi créés par les produits de décomposition de la vapeur polyatomique adsorbée par la paroi de verre.

1° - Photosensibilité en volume. Des photons d'énergie inférieure à 3,5eV ($\lambda > 3500 \text{ \AA}$) excitent les molécules d'oxygène présentes et favorisent la formation d'ions négatifs, sources d'impulsions parasites (compteurs du premier groupe).

2° - Photosensibilité sur la surface du cylindre. Elle serait due à la diminution du travail d'extraction de la surface, résultant de l'adsorption des atomes d'hydrogène (entre autres) produits par les décharges successives subies par le compteur.

18 - M. GRENON et R. VIALARD (1952) (52), (53) -

Les compteurs à parois de verre sont appliqués au dosage du tritium : ils ont l'avantage de ne pas comporter de cathode métallique, fortement adsorbante, et sont très stables dans le temps. Les remplissages sont constitués d'alcool (1 cm de mercure), d'argon (3 cm de mercure) et d'hydrogène actif sous une pression pouvant aller jusqu'à 4 cm de mercure. Les résultats obtenus sont satisfaisants jusqu'à un taux de comptage de 8000 impulsions par minute; au dessus, le compteur semble "fonctionner à saturation". J'aurai l'occasion d'expliquer à quoi il faut attribuer ce phénomène. L'utilisation d'eau tritiée rend, par contre, les mesures peu reproductibles et la contamination est beaucoup plus difficile à éliminer.

19 - D. BLANC (1952), (54) .

Indépendamment des auteurs précédents, et simultanément, j'ai étudié des remplissages hydrogène-méthylal, en vue de dosages du tritium. Le méthylal ($\text{CH}^3\text{-O-CH}^2\text{-O-CH}^3$) est beaucoup plus facile à purifier que l'éthanol. Alors que l'hydrogène n'avait été introduit jusqu'ici que sous des pressions relativement faibles, dans les compteurs à cathode interne (valeur maximum : 12 cm de mercure (55)) comme dans ceux à coque de verre (GRENON et VIALARD : 4 cm de mercure), j'ai constaté que les paliers restent excellents pour des pressions de plusieurs dizaines de centimètres de mercure, ce qui permet des dosages précis de tritium. Un mélange d'hydrogène (25 cm de mercure) et de méthylal (4 cm de mercure) dans un compteur (verre "novo") de 2,8 cm de diamètre et 20 cm de longueur efficace, donne un palier de 400 volts présentant une pente de 3,75 % par 100 volts et un seuil de 2000 volts, sous irradiation gamma (4000 impulsions par minute). L'efficacité gamma comparée à celle d'un remplissage classique (argon : 13 cm de mercure + méthylal : 4 cm de mercure) est de 0,88.

Il faut noter que, dans certaines méthodes de dosage du tritium utilisant des compteurs à cathode interne, (56), les gaz à introduire dans le compteur doivent être purifiés avec un soin extrême, ce qui rend la réalisation pratique très pénible, alors que le remplissage décrit ici est des plus faciles à réaliser.

20 - M.R. BHIDAY, V.G. BHIDE et V.S. ASOLKAR (1953), (57) -

Les recherches de ces auteurs ne concernent pas le mécanisme des compteurs à cathode externe : ils étudient, dans les détecteurs de ce type, certaines particularités de l'effet JOSHI et sa variation avec le potentiel d'excitation et la longueur d'onde du faisceau de rayons X pour des remplissages d'hydrogène (3 à 128 mm de mercure), de chlore et de méthane. Cette étude n'est citée que pour mémoire.

- CONCLUSION -

Cette analyse bibliographique démontre que, bien que la somme des publications relatives aux compteurs à parois de verre soit assez importante (34 articles), il n'existe que très peu de renseignements sur leur mécanisme, la plupart des études ayant trait à des réalisations ou des perfectionnements techniques.

Un travail systématique s'imposait. Le plan de cet exposé est le suivant :

La PREMIERE PARTIE est consacrée à la description des dispositifs de pompage, de remplissage et de numération, puis à l'étude fondamentale des divers modèles de compteurs utilisés. Une technique de fabrication a été

mise au point. Sont déterminées, en particulier, la valeur précise du volume efficace dans un flux radioactif uniforme, et les caractéristiques de détecteurs de petit diamètre.

La SECONDE PARTIE traite de la région terminale de la zone de proportionnalité limitée dans ses rapports avec la zone de résolution. La variation du seuil de Geiger avec le taux de comptage est ainsi expliquée quantitativement. Les paramètres de fonctionnement sont établis pour une gamme étendue de remplissages, et généralisés au cas des compteurs à cathode interne. Les conditions optima de fabrication et de remplissage de compteurs destinés à des irradiations intenses en découlent. Des mesures effectuées résulte une méthode simple pour déterminer le temps de restitution intrinsèque au seuil de Geiger, quel que soit le type de compteur utilisé. Les mobilités ioniques d'un certain nombre de gaz et de vapeurs en sont déduites, et les résultats s'accordent avec les valeurs trouvées antérieurement.

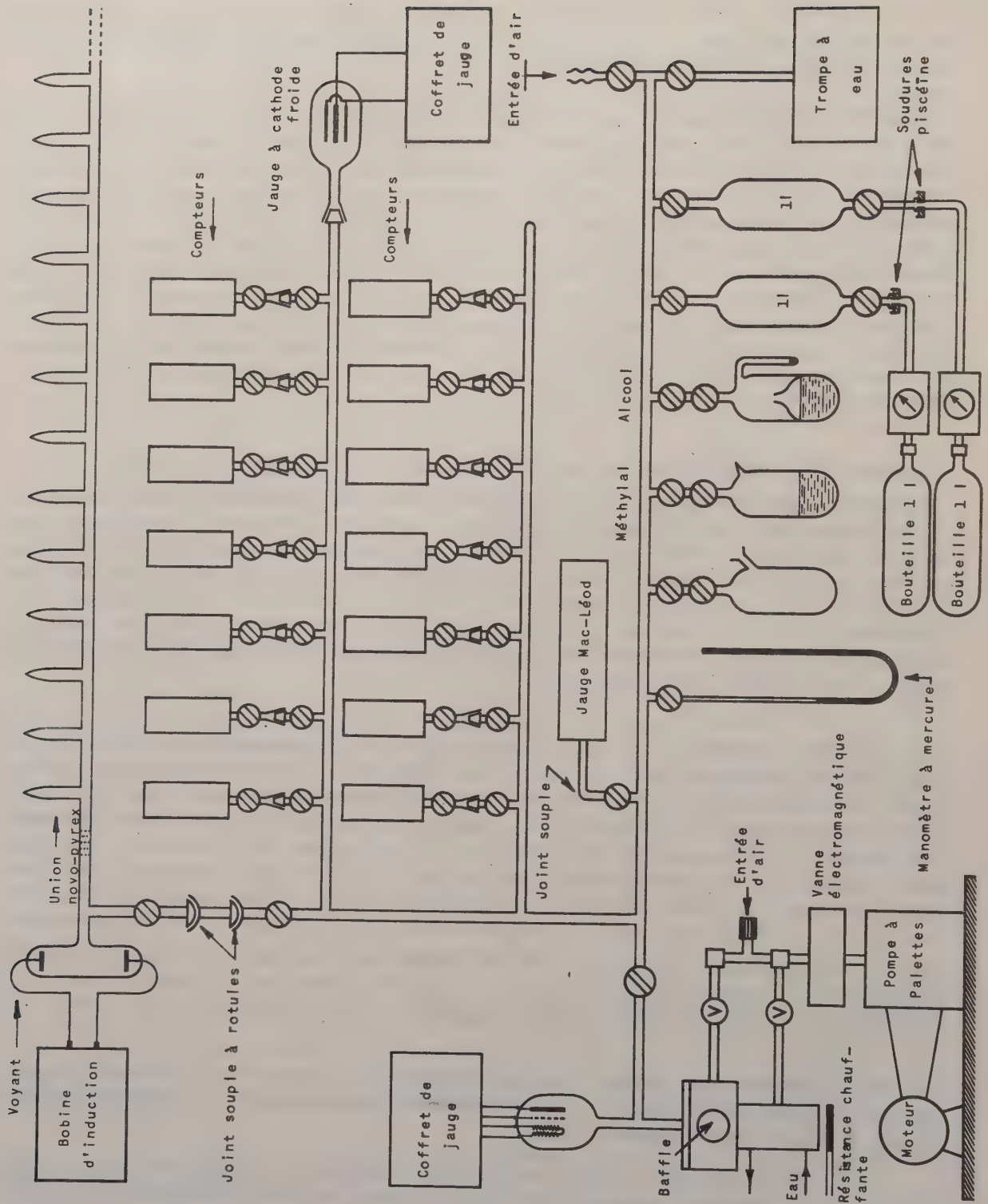
La TROISIEME PARTIE est relative à la zone de résolution. Après avoir montré le raccordement parfait des résultats qui précèdent avec le fonctionnement dans la zone de résolution, et avoir précisé la tension origine à introduire dans toute théorie quantitative, j'établis une théorie approchée du mécanisme, valable pour des taux de comptage relativement élevés. Des calculs plus complexes sont effectués pour tenir compte des fluctuations du potentiel interne de la paroi de verre, mais la théorie approchée s'applique dans le plus grand nombre des cas. Sa concordance avec l'expérience est excellente.

La QUATRIEME PARTIE décrit un nouveau type de remplissages, constitué par une vapeur organique pure (éthanol ou méthylal). Les performances pratiques des détecteurs ainsi réalisés sont données (seuils, pente et longueur du palier, efficacité, etc ...); leur mécanisme de fonctionnement est étudié : j'analyse en particulier la variation du palier en fonction de l'intensité du rayonnement et du seuil du circuit associé. De tels remplissages, qui ont un grand intérêt pratique, permettent, de plus, de préciser le rôle joué par le constituant polyatomique : vieillissement après remplissage, adsorption de la vapeur sur les parois, coefficient de température, action de la vapeur d'eau dégagée par le verre pour des températures de fonctionnement élevées, effets secondaires divers.

La CINQUIEME PARTIE, enfin, est consacrée à la mesure du temps de vie en nombre d'impulsions des divers mélanges de remplissage et diverses géométries étudiés précédemment.

Beaucoup des résultats ainsi obtenus se généralisent aux compteurs à cathode interne. Ils sont donnés au fur et à mesure de l'exposé, et leur ensemble est résumé dans la Conclusion Générale.

* * * *



- FIGURE 12 - Schéma de principe du bloc de pompage et de remplissage

Chapitre 2

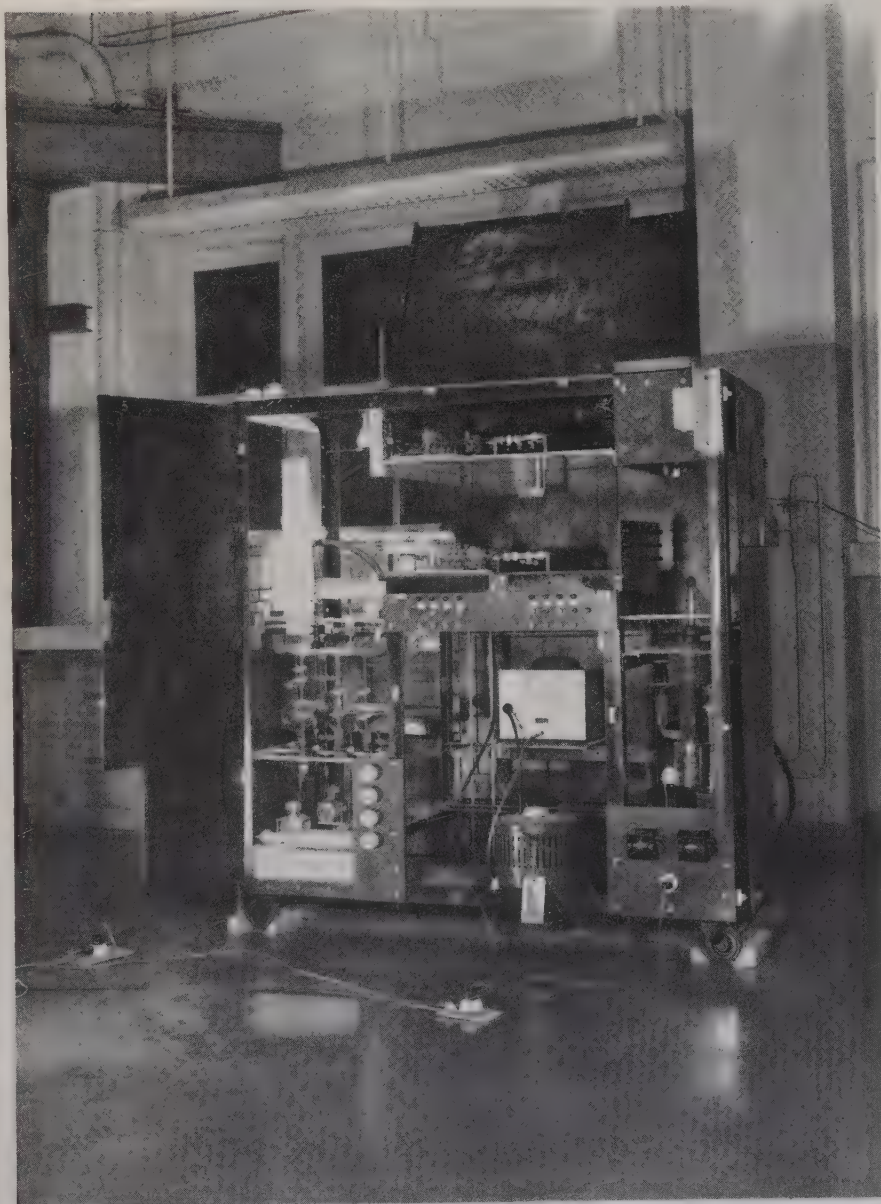
DISPOSITIF EXPERIMENTAL

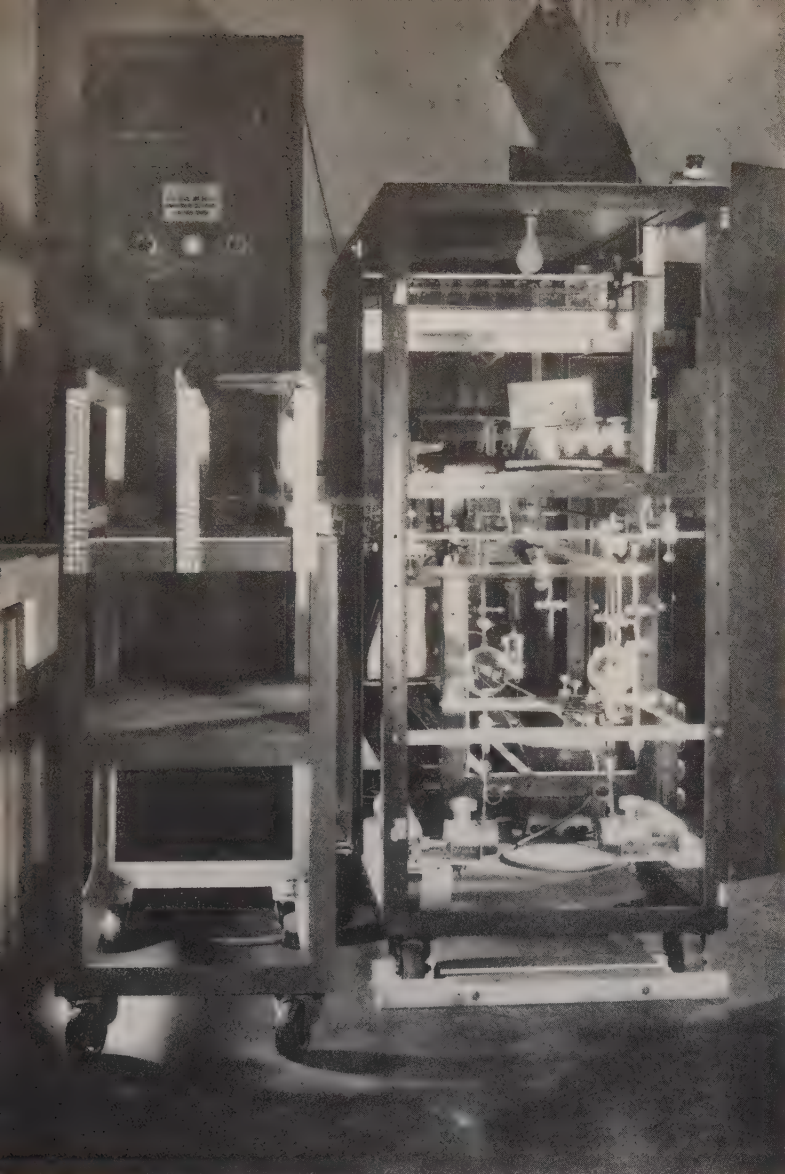
INSTALLATION DE
POMPAGE ET DE
REPLISSAGE DES
COMPTEURS -

La figure 12 donne le schéma de principe de l'installation, et les photographies I, II, III représentent la réalisation pratique.

L'ensemble est construit à l'intérieur d'un bâti rigide de 1,80 m de hauteur, 1,80 m de largeur et 0,80 m de profondeur. Des portes latérales permettent de faire l'obscurité autour des compteurs reliés à la rampe de remplissage lorsque leurs caractéristiques doivent être mesurées directement sur cette rampe.

Photographie I : Ensemble de l'installation de pompage et de remplissage.





PHOTOGRAPHIE II - Vue latérale du banc de remplissage

la pompe à palettes permet d'établir le vide primaire sans que la pompe à diffusion soit dans le circuit. Ce dispositif économise l'huile de silicone et la pompe à diffusion peut, de cette façon, être isolée.

Une vanne électromagnétique intercalée dans le circuit évite toute remontée accidentelle d'huile de la pompe à palettes dans la pompe à diffusion, en cas d'arrêt du moteur. Une entrée d'air auxiliaire (2) permet le démarrage et l'arrêt normal de la pompe à palettes.

La jonction entre le bloc de pompage et l'installation construite en verre "Pyrex" est assurée par une soudure "Kovar".

1.- Bloc de pompage -

Une pompe à palettes à un seul étage "Edwards-Speedivac "1-S-150", fournit le vide primaire. La vitesse de pompage est de 120 litres par minute sous la pression de 0,5 mm de mercure. Le vide limite ainsi réalisé, mesuré sur une jauge de MAC-LEOD (qui ne tient pas compte de la pression d'huile) est de 5 microns de mercure.

Le vide secondaire est obtenu par une pompe à diffusion d'huile "Edwards-203", refroidie par circulation d'eau. le vide ultime est de l'ordre de 5.10^{-6} mm de mercure. Sa pression d'amorçage étant de 0,5 mm de mercure, cette pompe peut être utilisée avec la pompe à palettes sans adjonction d'une pompe intermédiaire à diffusion de mercure. L'huile est de l'huile de silicone du type DC-703, beaucoup plus robuste qu'une huile organique (58) Ce point est important étant donnée la présence de vapeur organique dans le circuit de pompage.

La pompe à diffusion est munie d'une vanne type "baffle" (1). Une dérivation sur

2° - Banc de remplissage -

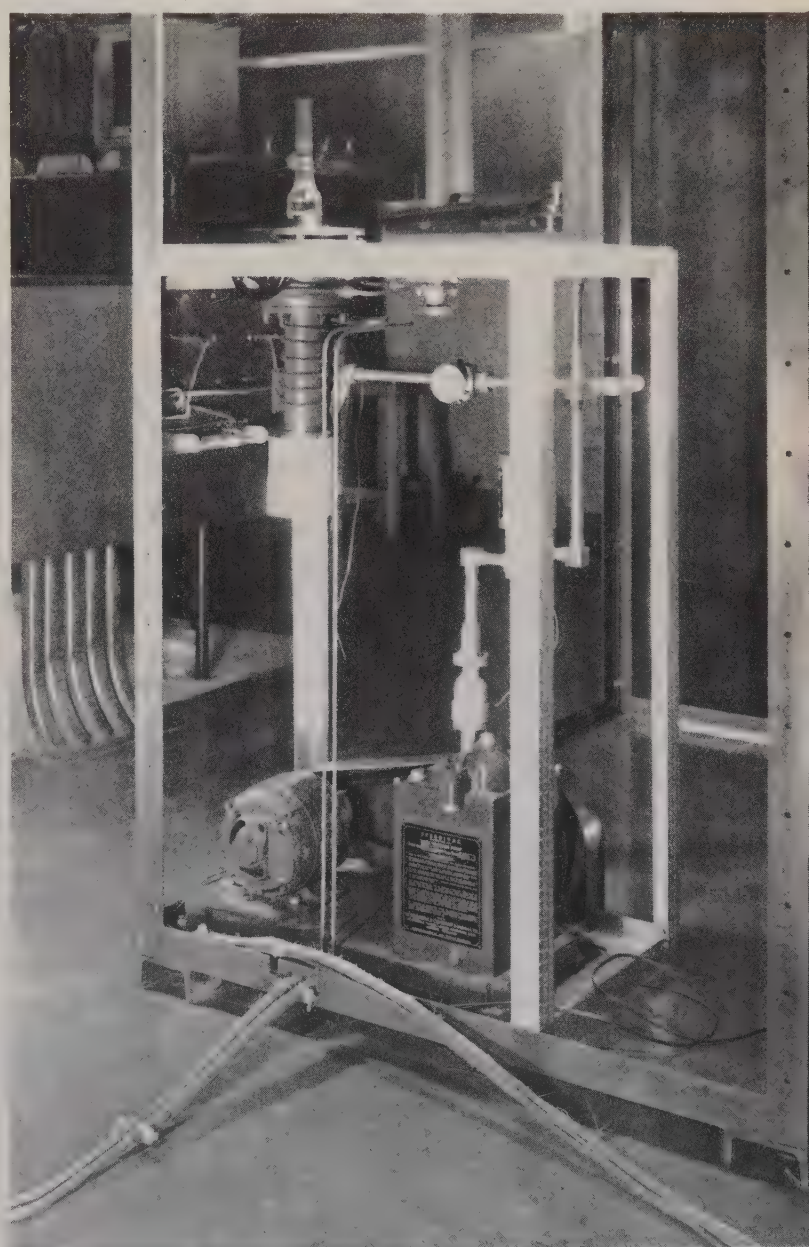
Tous les robinets utilisés sur cette installation ont la disposition de la figure 13 : les risques de fuites accidentelles sont ainsi diminués, la canalisation (1), préalablement placée sous vide, assurant un contact parfait des rodages, enduits de graisse de silicone type "Apiezon".

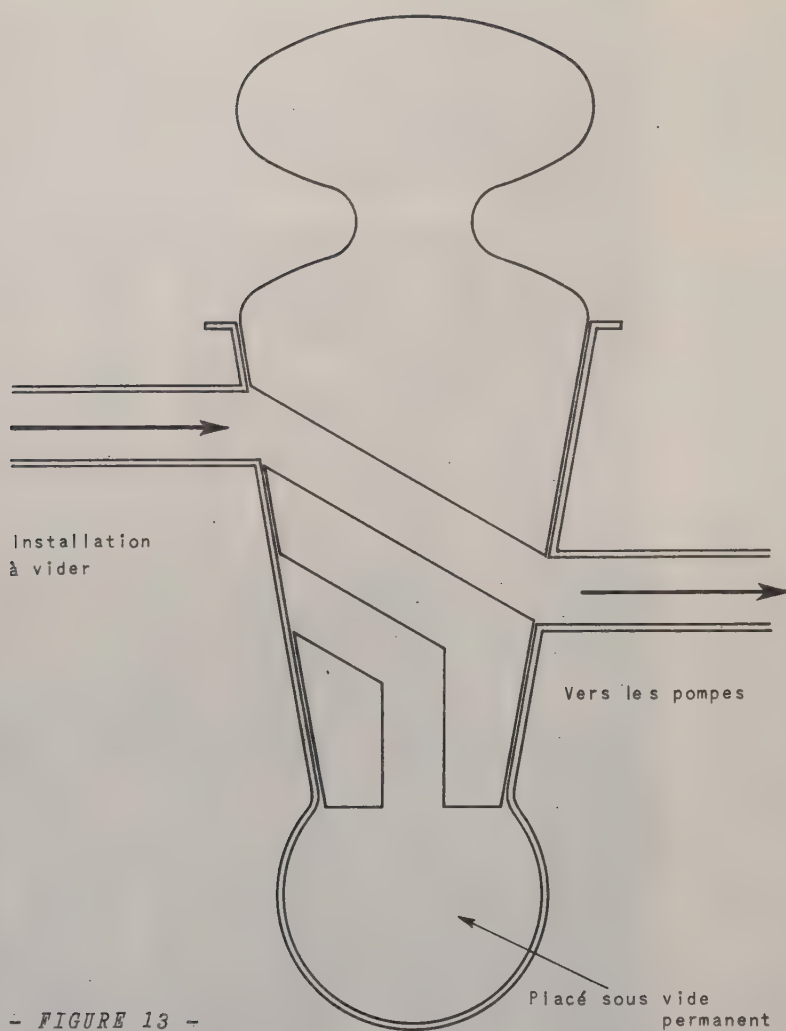
A - La rampe de jonction aux compteurs compte 15 sorties, dont chacune, terminée par un rodage conique mâle normalisé n° 1, est fermée par un robinet du type décrit plus haut.

B - Une rampe auxiliaire permet la fabrication de compteurs à scellément permanent. Construite en verre "Novo", elle est reliée à un tube de "Pyrex" par une série d'anneaux de verres à coefficients de dilatation intermédiaires. L'ensemble est raccordé à l'installation de pompage par un système de joints à rotules absorbant les vibrations des pompes et permettant un certain déplacement latéral. Un tube à décharge, alimenté par une batterie de RUHMKORFF contrôle l'étanchéité de cette partie du montage.

Pour que l'homogénéité du mélange gazeux soit parfaite, les compteurs sont maintenus pendant 24 heures sur la rampe. Leurs paliers sont construits quelques heures après remplissage, et immédiatement avant de les retirer de l'installation. S'il n'y a pas d'altération décelable on a la certitude de l'absence de toute fuite appréciable. Cette précaution permet d'éviter l'utilisation d'une rampe de pompage circulaire du type proposé par K. HASHIMOTO (59), qui introduit un grand nombre de

PHOTOGRAPHIE III : Groupe de pompage (avant monta





- FIGURE 13 -
Schéma-type des robinets utilisés -

complications mécaniques. Il est également inutile de faire le mélange argon-vapeur organique avant son introduction à l'intérieur des compteurs. Moyennant ces précautions, ce dispositif de remplissage donne des résultats extrêmement réguliers.

C - Le banc de remplissage proprement dit est constitué par:
a-Des ampoules en verre "Pyrex" de faible capacité (100 cm³) contenant le liquide organique, introduit par une ouverture latérale fermée ensuite au chalumeau. L'air résiduel surmontant le liquide est éliminé par pompage préliminaire (trompe à eau, puis pompe à palettes). Le méthylal et l'éthanol utilisés sont soigneusement purifiés avant utilisation.

b-Des bouteilles métalliques d'une capacité en eau de 0,8 litre, contenant le gaz rare.

La pression maximum d'utilisation est de 50 kg par cm². Ces bouteilles sont équipées de robinets à membranes d'étanchéité maximum. Le gaz venant de la bouteille arrive dans un détendeur "Monobloc" (Compagnie Française des Produits Oxygénés) qui le restitue sous la pression atmosphérique. Une échelle graduée donne le débit. Le gaz détendu passe dans un tube métallique souple, relié par un joint piscéïné à une capacité en verre Pyrex de un litre, où il peut être stocké avant utilisation. L'argon et l'hydrogène utilisés sont spectroscopiquement purs (L'Air Liquide), ce qui évite toute purification complémentaire.

3° - Mesure des Pressions -

Près de la pompe à diffusion est placée une jauge à ionisation à cathode chaude (C.G.R.), soudée à la canalisation; elle mesure les pressions de 10^{-4} à 10^{-6} mm de mercure, et permet de contrôler le fonctionnement du bloc de pompage : le dispositif ne comporte pas de piège

condensant les vapeurs organiques, qui risquent, à la longue, de détériorer les huiles des pompes. Ces huiles ont été changées une seule fois en quatre ans.

- Le vide à l'intérieur des compteurs est mesuré par une jauge à ionisation à cathode froide Philips 2-G-A. Les pressions mesurables vont de 2.10^{-5} à 5.10^{-3} mm de mercure.

.. Une jauge Mac-Leod "Edwards-Vacustat" (pressions de 0,01 mm à 10 mm de mercure) est destinée à contrôler le vide primaire réalisé.

- Les pressions de remplissage (jusqu'à 50 cm de mercure) sont lues sur un manomètre à mercure en U. Une lecture soignée limite l'erreur de mesure à 0,5 mm de mercure.

- **Remarque** - La jauge Mac-Leod et le manomètre contiennent du mercure qui possède une faible tension de vapeur (0,0012 mm de mercure à 20°C). Le dispositif ne comporte pas de piège à air liquide. Comme je le montrerai plus loin, la présence dans le gaz de remplissage de quelques atomes de mercure, qui ne perturbe pas - comme on le sait - le fonctionnement à la température ambiante, n'a pas d'effet néfaste à des températures plus élevées, contrairement à ce que craignent certains auteurs (60).

4° - Méthode de remplissage des compteurs -

Les compteurs sont pompés sans étuvage, bien que certains auteurs (27), (31), (42) dégazent à chaud sous vide avant remplissage. R. MAZE (6), R.O. JENKINS et R.W. TAYLOR (43) ont déconseillé cette opération et, plus récemment, M. GRENON (61) a montré que l'étuvage se traduit par une déformation importante de la caractéristique : après étuvage à 180° C, le fonctionnement normal se rétablit au bout de quelques jours, tandis qu'un compteur porté à 400° C ne retrouve sa caractéristique normale qu'au bout de plusieurs mois.

A l'aide d'un dispositif auxiliaire de chauffage constitué par deux séries de lampes infra-rouges placées en regard, j'ai étudié le rôle de l'étuvage entre 100° et 200° C sur un certain nombre de compteurs. Il se produit effectivement des perturbations, variables d'un compteur à l'autre, disparaissant au bout d'un certain temps. Les compteurs ainsi fabriqués ont finalement un seuil de comptage identique à celui de compteurs non étuvés. La longueur de palier est, dans certains cas, augmentée mais trop faiblement pour que l'étuvage constitue une amélioration technique de fabrication.

Le rôle de l'étuvage est de détruire, en partie ou totalement, les couches polyatomiques d'eau existant normalement sur un verre alcalin non préparé (62). La présence de cette couche rend la surface cathodique très homogène et explique le rendement de fabrication élevé des compteurs de ce type.

Dans une récente publication, S. MICHALAK, B. MOWCZAN et A. ZAWARZKI (63) ont tenté de dissocier le rôle du circuit équivalent à

la paroi de verre de celui de la surface interne. Ils comparent des compteurs à cathode externe de construction classique à des compteurs du même modèle où la surface interne est argentée. Leur travail n'apporte aucun fait nouveau car ils modifient totalement le mécanisme en remplaçant la surface de verre par une surface métallique, pour arriver finalement au résultat bien connu (6), (27) que l'émission secondaire sur la surface du verre est inférieure à celle obtenue sur une surface métallique. R. MAZE, (6) signalait d'ailleurs qu'il suffit de recouvrir la surface interne de graphite ou d'un dépôt métallique pour obtenir, dans les mêmes conditions, les résultats inconstants et caractéristiques de la technique courante.

D'autre part, si l'étuvage sous vide améliore la pression résiduelle, la pression limite obtenue dans une ampoule de verre après dégazage à 20° C durant trois heures, suivi d'un repos de 24 à 48 heures est très faible, comme le montre le tableau I (64) :

- TABLEAU I -

TEMPERATURE DE CHAUFFE	3 HEURES A 20° C	3 HEURES A 100° C	3 HEURES A 300° C	3 HEURES A 500° C
Pression limite (baryes)	0,01	$2 \cdot 10^{-3}$	$1,7 \cdot 10^{-4}$	$2,4 \cdot 10^{-5}$
Microns de Hg	0,0075	$1,5 \cdot 10^{-3}$	$1,275 \cdot 10^{-4}$	$1,80 \cdot 10^{-5}$

Il est légitime d'admettre que cette pression résiduelle est constituée par de la vapeur d'eau (LANGMUIR). Peu d'études ont été faites sur la contamination des compteurs par des gaz électronégatifs. S. IGNATOWICZ et R.D. PHILLIPS (65) ont montré que l'hydrogène sulfuré n'a un effet néfaste que pour une pression supérieure à un centimètre de mercure. La contamination produite par l'air double la pente du palier pour une pression de 4 mm de mercure environ (66); l'effet de l'oxyde de carbone est 12 fois plus grand que celui de l'air (66). Quoi qu'il en soit, le tableau I montre que, à la température ambiante, l'effet de contamination est absolument négligeable, et que l'étuvage ne donnera aucune amélioration sensible. A température plus élevée, l'effet de la vapeur d'eau dégagée par le verre pourra se faire sentir, et je reviendrai sur cette question dans la quatrième partie de ce Mémoire.

Les considérations qui précèdent ont conduit à la technique de remplissage suivante : les compteurs sont d'abord pompés pendant trois heures à une pression inférieure ou égale à 0,1 micron de mercure. Le remplissage est ensuite effectué, le constituant polyatomique étant toujours introduit le premier. Après un repos de 24 heures, les compteurs sont retirés du bloc de remplissage.

Il est bien connu (67) que des compteurs de construction mécanique identique remplis du même mélange gazeux, montrent des fluctuations

de seuils. C'est pourquoi tout remplissage nouveau a été expérimenté sur un ensemble d'au moins six compteurs remplis simultanément.

DISPOSITIF ELECTRONIQUE DE COMPTAGE

La figure 14 donne le schéma de principe de l'ensemble de l'installation.

1° - Alimentation haute tension des compteurs -

La coque de verre impose que la haute tension, positive, soit appliquée sur l'anode. Les études effectuées ici nécessitent une excellente stabilisation de cette tension. L'erreur de lecture sur l'appareil de mesure étant de 5 volts la stabilisation doit être de cette valeur pour le maximum de l'échelle (2500 volts), c'est à dire de 2 pour 1000. Cette condition est remplie par le montage représenté dans la figure 15, d'ailleurs classique: un circuit oscillateur "blocking" permet la lecture périodique du courant anodique d'une pentode 6-AU-6 chargée par un circuit inductif. La surtension électrique produite est redressée et comparée à l'aide d'un circuit différentiel à la tension de référence d'un tube stabilisateur 85-A-2. Un circuit de contre-réaction règle automatiquement le courant de la pentode de façon à stabiliser la tension finale ainsi produite. Des circuits classiques basse-tension (non représentés sur la figure 15) fournissent des tensions stabilisées de -150, ± 85 et + 150 V. Un voltmètre électronique (impédance d'entrée = 95 mégohms) permet le contrôle régulier des indications de l'appareil de mesure.

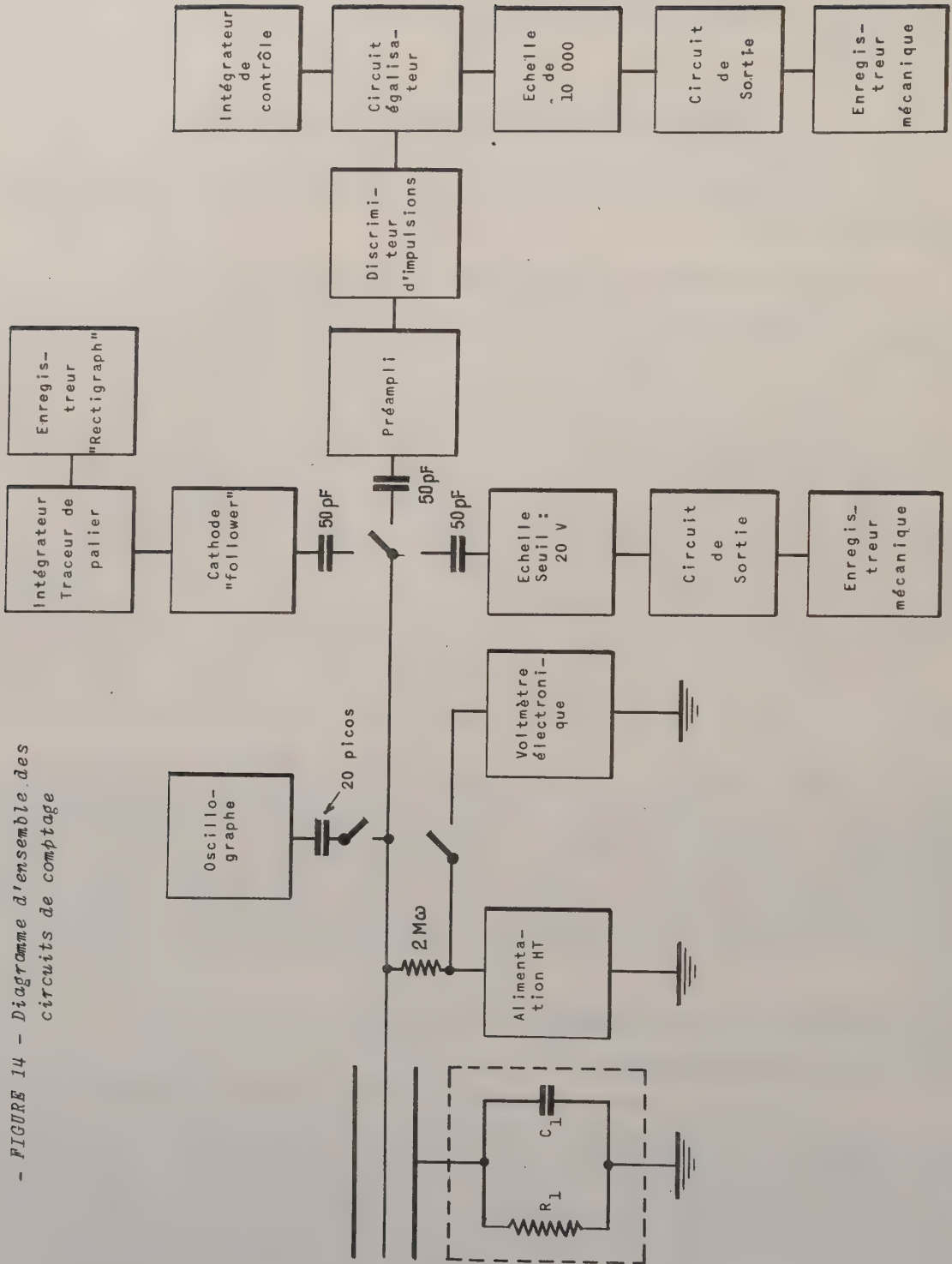
Dans certaines applications, telles que la détermination de temps de vie, où les mesures durent un temps considérable, pour éviter une fatigue excessive à la haute tension et éliminer les causes d'erreurs dues à des arrêts incontrôlables de l'alimentation secteur, j'ai utilisé des boîtes de piles (100 à 3000 volts), constituées de piles Mazda R-6808 (102 V) montées en série. L'isolement doit être excellent. Des piles de 15 et 30 volts assurent l'interpolation des valeurs de la tension.

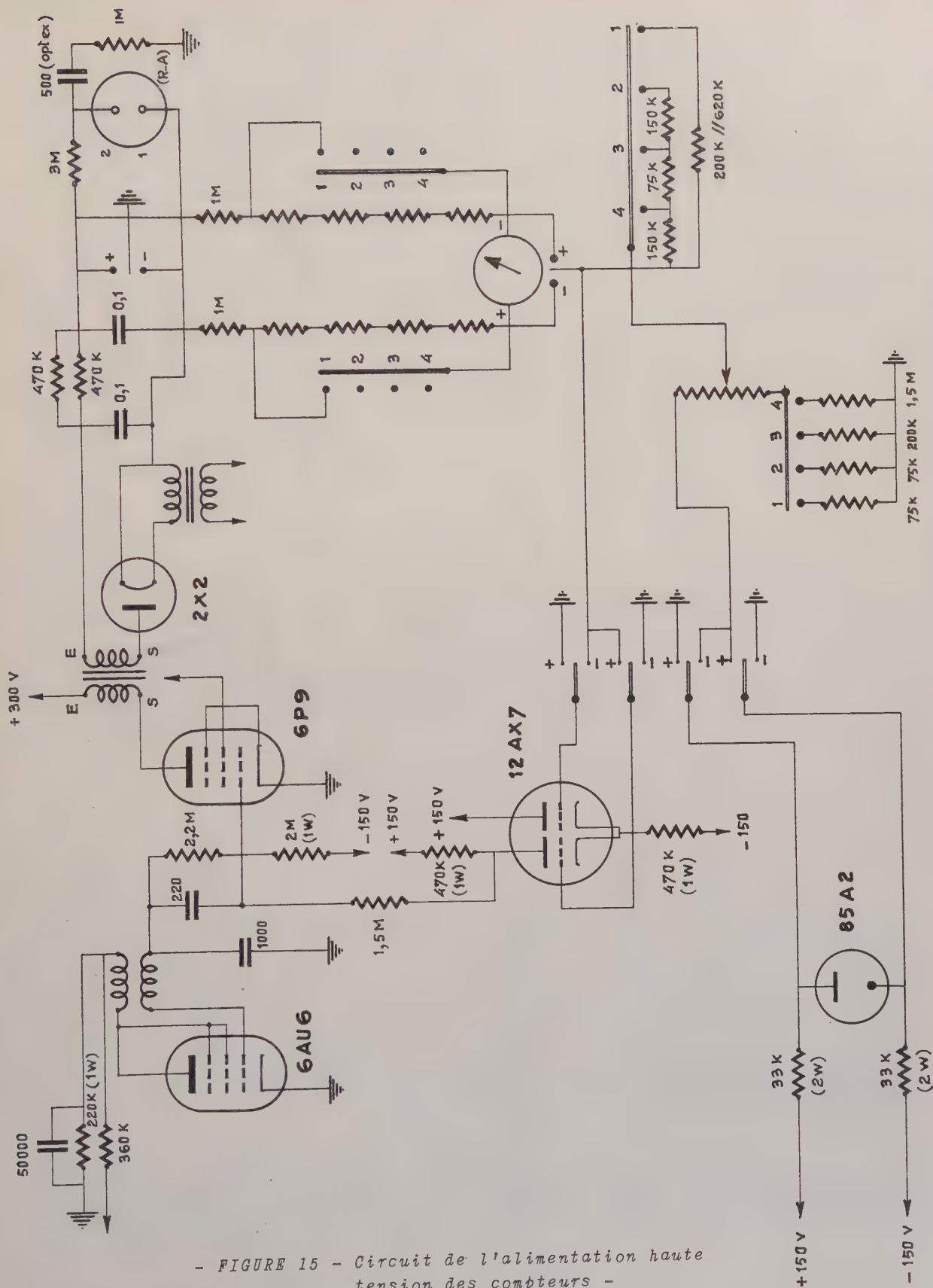
2° - Bloc de comptage rapide à seuil variable -

A - Préamplificateur -

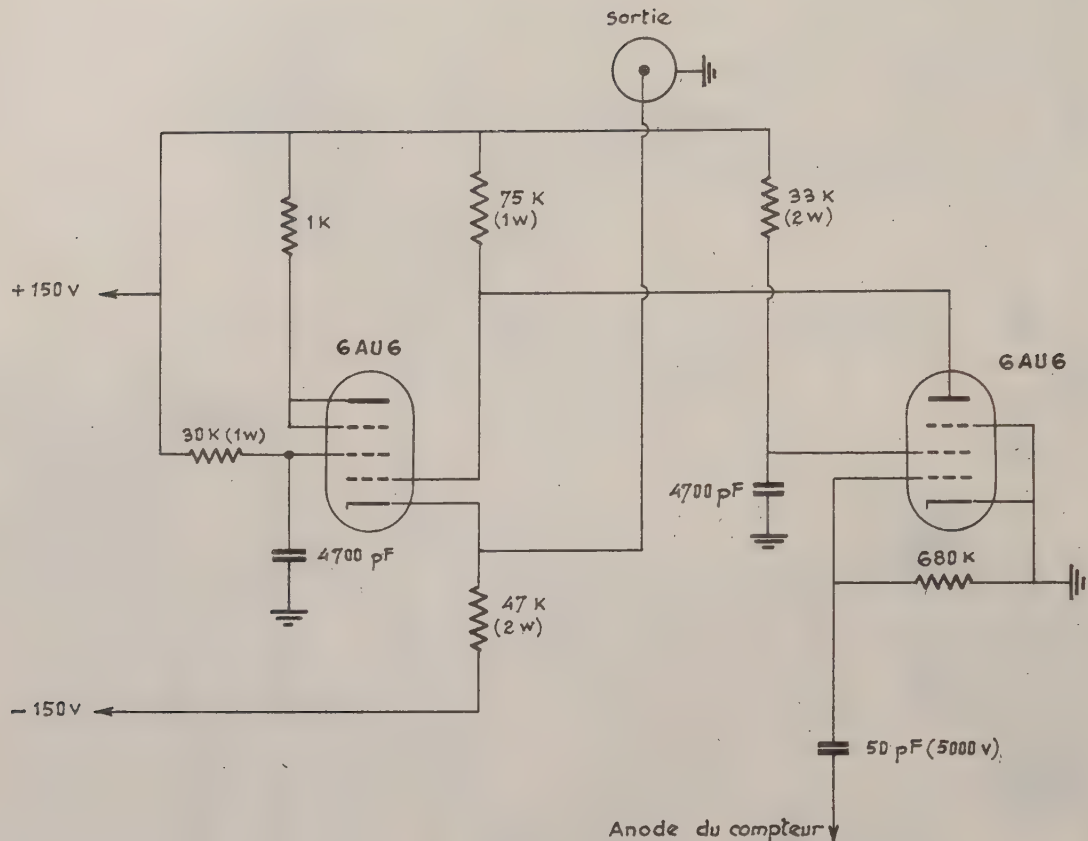
Les sources gamma intenses, quoique protégées par des murs de plomb, utilisées dans certaines mesures, nécessitent que l'opérateur soit placé dans une zone non dangereuse, assez éloignée des compteurs. Les câbles de liaison ont une longueur de 5 à 12 mètres et l'affaiblissement des impulsions qui en résulte impose l'utilisation d'un préamplificateur (figure 16) constitué d'un tube à forte pente (6-AU-6) amplifiant l'impulsion négative venant du fil du compteur et d'un tube de liaison cathodique (6-AU-6) permettant la sortie sur basse impédance (1000 ohms). Le gain ainsi réalisé est de l'ordre de 100, le temps de résolution de 15 microsecondes.

- FIGURE 14 - Diagramme d'ensemble des circuits de comptage





- FIGURE 15 - Circuit de l'alimentation haute tension des compteurs -



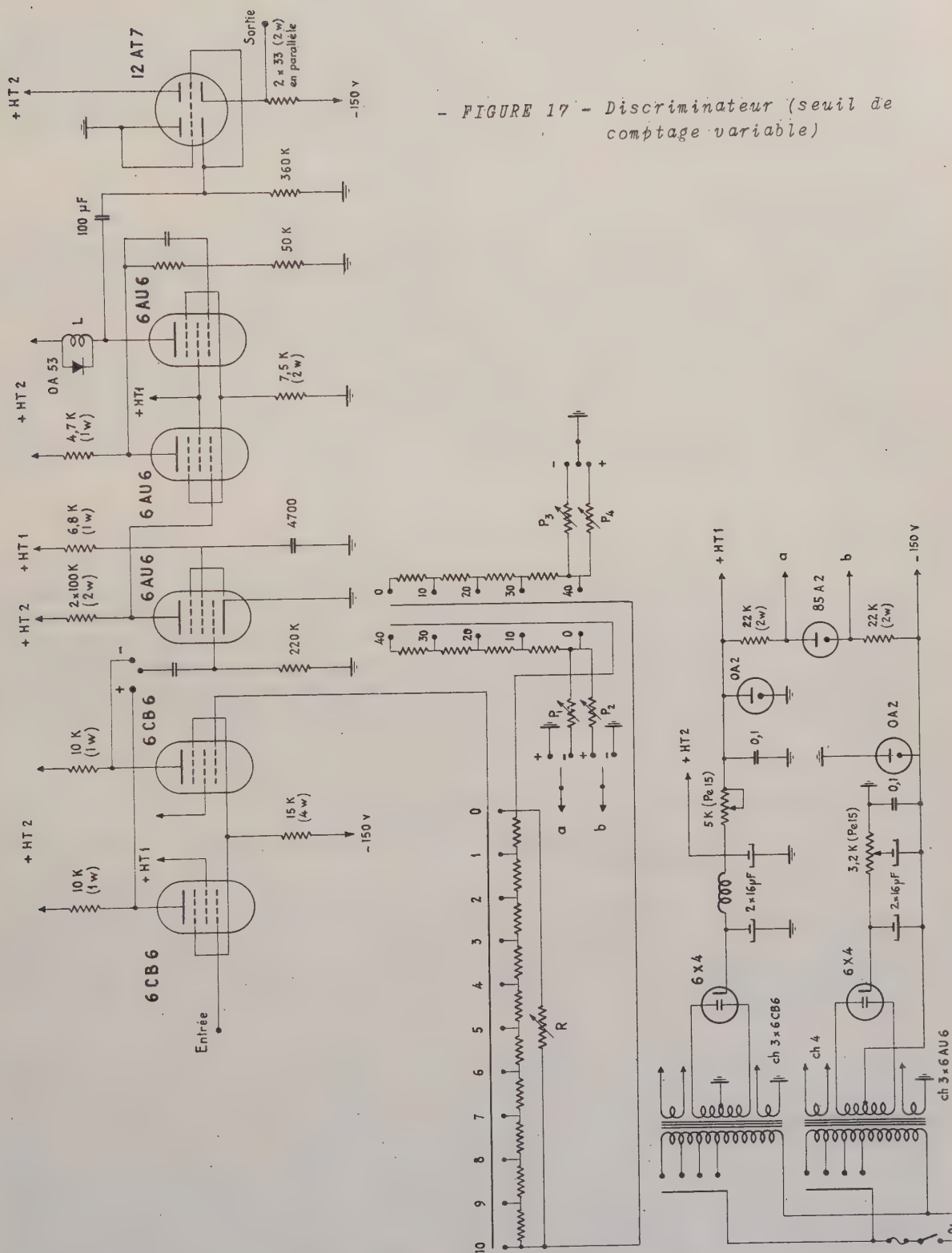
- FIGURE 16 - PREAMPLIFICATEUR -

B - Discriminateur -

Il est du modèle SCHMITT (68), figure 17; la tension incidente attaque un amplificateur différentiel à faible capacité d'entrée, suivi lui même d'un circuit "normalisateur". Selon la tension continue de retour de l'électrode de contre-tension, les impulsions incidentes doivent dépasser une certaine valeur pour provoquer le basculement du circuit normalisateur. Ce dernier alimente un tube de couplage (12-AT-7) à faible impédance de sortie destiné à l'attaque simultanée d'une échelle et d'un intégrateur. La tension de sortie, positive, est égale à 20 volts. Le temps de résolution est de 0,5 microseconde.

C - Circuit "échelle" -

Un circuit normalisateur permet l'attaque directe, sans introduction du discriminateur. Le seuil est alors voisin de 20 volts. Il comporte une décade rapide (temps de résolution = 0,6 microseconde),



suivie d'une décade de 5 microsecondes et de deux décades de 25 microsecondes. Un thyatron 2D-21 actionne, à la sortie, un numéroteur électromécanique à remise à zéro : sa cadence de comptage maximum fixe à 50 000 impulsions par seconde le taux de comptage mesurable sans perte. Le temps de résolution du pré-amplificateur (15 microsecondes) est suffisant pour cette cadence.

D - Intégrateur -

Mis en parallèle sur le circuit échelle, il en contrôle les indications. Les impulsions incidentes traversent un circuit normalisateur, suivi d'un circuit tachymétrique à faible constante de temps, dont le temps de résolution est de l'ordre de 1 microseconde.

Après intégration à travers un réseau résistances-capacités commutables, la tension électrique lentement variable ainsi obtenue est appliquée à un circuit de sortie à grand taux de contre-réaction; celui-ci alimente l'appareil de mesure à lecture directe. La fréquence maximum est de 50 000 impulsions par seconde.

3° - Circuit de comptage à seuil élevé -

Le compteur est connecté directement sur une échelle ayant un seuil d'entrée de 20 volts. L'ensemble est formé d'un circuit normalisateur, d'une décade de 5 microsecondes suivie de deux décades de 25 microsecondes. Le numéroteur électromécanique limite la cadence maximum de comptage à 5 000 impulsions par seconde. Des câbles de jonction plus ou moins longs permettent, de façon très simple, de modifier le seuil du circuit.

4° - Traceur automatique de palier -

Il s'est avéré précieux pour le contrôle rapide des paliers sur la rampe de remplissage.

Certains circuits, du type "plateaugraphe" (69), (70) nécessitent un écran d'oscillographe cathodique, sur lequel apparaît la courbe de palier. Il faut photographier ou dessiner la courbe, et il en résulte une certaine imprécision; les dimensions, nécessairement restreintes, de l'écran augmentent encore cette imprécision.

On a proposé des dispositifs où la haute tension balaye la zone utile par échelons successifs (71). M'inspirant de ce type de montage, j'ai utilisé un dispositif d'intégration dans lequel la haute tension (modèle de la figure 14) est modifiée linéairement en fonction du temps par un moteur lui faisant balayer la gamme choisie. Un intégrateur donne le taux de comptage et alimente un enregistreur à bande type "rectigraphe" (Chauvin-Arnoux). Après étalonnage préalable, cet appareil inscrit directement le taux de comptage en fonction de la tension, la vitesse de déroulement de la bande enregistreuse étant constante. Un dispositif de

sécurité déconnecte la haute tension dès que le courant qui traverse le compteur atteint une valeur critique : toute surtension accidentelle au-dessus du palier est ainsi évitée. La durée totale d'un enregistrement est de 10 minutes. Un "cathode-follower" de liaison donne un seuil voisin de 1 volt. (*)

* Les appareils de comptage décrits ont été construits par les Ets. MESCO, à Vanves (Seine).

Chapitre 3

DESCRIPTION ET CARACTERISTIQUES FONDAMENTALES DES COMPTEURS UTILISES

CARACTERISTIQUES ELECTRIQUES DES VERRES EMPLOYES

Les compteurs à coque de verre ont été, jusqu'ici, construits à l'aide de verres à la soude de qualité courante. R. MAZE utilise le verre "Novo" des verreries de Choisy-le-Roi. Pour généraliser les résultats obtenus, j'ai employé d'une part le Pyrex, de résistivité très élevée et, d'autre part, les verres UVK-1 et UVK-2 (verreries de Bagneaux) plus conducteurs que le Novo, dont la composition chimique est la suivante :

	UVK-1	UVK-2
Si O ₂	60%	63%
Al ₂ O ₃	10	8,10%
Ba O	2	2
Na ₂ O	20	18,90
Zn O	8	8

Il convient de noter que le verre UVK-1 n'est pas une limite absolue et que l'introduction d'une plus grande quantité d'alumine, ou de composés de la famille du platine permettrait de réaliser une conductibilité plus grande.

Le tableau II donne les caractéristiques électriques de ces différents verres, ainsi que la résistance R_1^s et la capacité C_1^s d'un cylindre de verre de 2 cm de diamètre intérieur, 1 mm d'épaisseur et 1 cm de longueur.

	CONSTANTE DIE- LECTRIQUE (u.e.s)	RESISTIVITE 20° C ω cm	COEFFIC. DE DILATATION α	R_1^s 20° C	C_1^s p F	θ_1 20° C, s
Pyrex	4,83	10^{15}	$\alpha_{21}^{471} = 36 \cdot 10^{-7}$	$1,45 \cdot 10^{13}$	29,36	425
Novo	6	$5,46 \cdot 10^{11}$	$\alpha_0^{300} = 96,6 \cdot 10^{-7}$	$7,90 \cdot 10^9$	36,47	0,29
UVK-2	6	$2,0 \cdot 10^{11}$	$\alpha_0^{300} = 98,2 \cdot 10^{-7}$	$2,89 \cdot 10^9$	36,47	0,11
UVK-1	6	$7,05 \cdot 10^{10}$	$\alpha_0^{300} = 102 \cdot 10^{-7}$	$1,02 \cdot 10^9$	36,47	0,037

D'une façon générale, soit S la surface externe utile du cylindre de verre, e l'épaisseur de la paroi, ρ la résistivité du verre en ohms-cm, ϵ sa constante diélectrique (u.e.s.) :

$$R_1 = \frac{\rho e}{S} \text{ ohms, } C_1 = 0,088 \frac{\epsilon S}{e} \text{ picofarads}$$

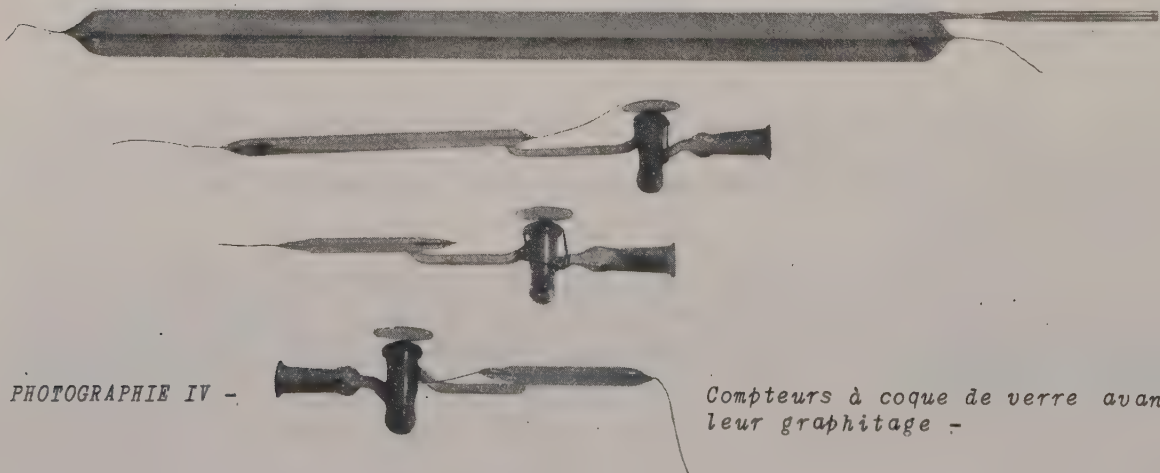
La constante de temps du circuit équivalent (figure 2) est :

$$\theta_1 = R_1 \cdot C_1 = 0,088 \cdot 10^{-12} \rho \cdot \epsilon \text{ sec}$$

elle est indépendante des dimensions du compteur.

DESCRIPTION MECANIQUE DES COMPTEURS

Quelques compteurs, avant graphitage externe, sont présentés sur la photographie IV, et après graphitage sur la photographie V : la



PHOTOGRAPHIE IV -

Compteurs à coque de verre avant leur graphitage -

- PHOTOGRAPHIE V -



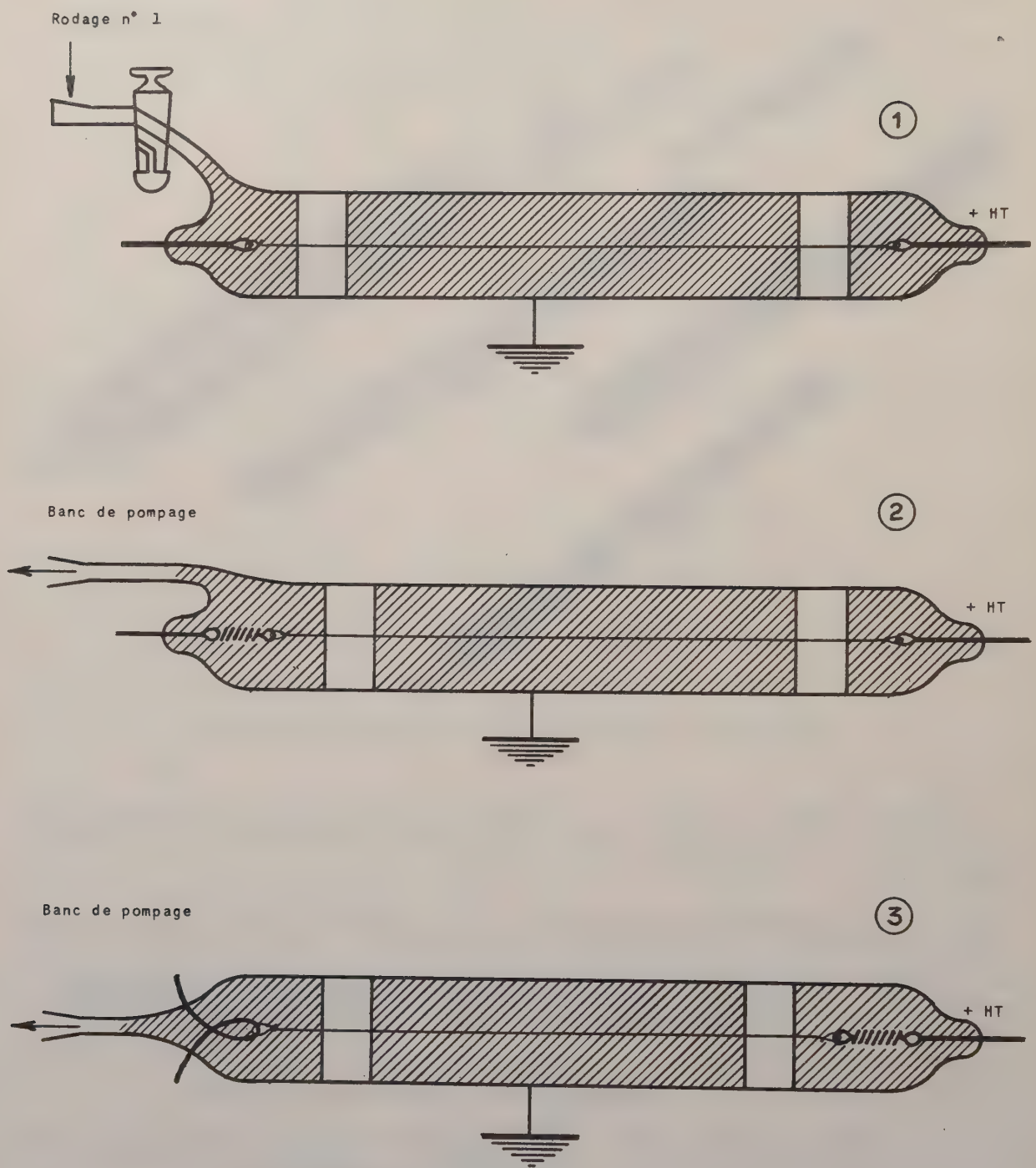
- Compteurs à coque de verre après leur graphitage -

comparaison avec un compteur à cathode interne de cuivre démontre leur simplicité de construction. La figure 18 donne la disposition des sections graphitées.

La technique de construction s'inspire de celle de MAC-KNIGHT et CHASSON (42), mais est beaucoup plus simple : l'anode ne comporte pas de soudure, le fil étant terminé par des boucles assurant la jonction mécanique; la mise en place, le centrage et la tension définitive du fil sont obtenus par ramollissement du verre; les extrémités graphitées du cylindre étant maintenues à la haute tension, les pointes pouvant exister dans ces régions n'introduisent aucune perturbation (19).

Dans certains cas, l'anode se termine par un ressort de tungstène, mais pour l'utilisation courante, ce ressort est supprimé, la tension nécessaire étant obtenue par simple étirage du verre.

La couche conductrice externe est constituée d'aquadag. Les sections isolées doivent être recouvertes d'un vernis isolant. La paraffine, l'araldite, le glyptal peuvent convenir, mais la meilleure solution est réalisée par un revêtement à base d'amiante, à séchage



- FIGURE 18 - Disposition des sections graphitées

rapide (Etablissements G.A.R., Brive), qui présente une résistance mécanique parfaite et ne subit aucune altération thermique dans la gamme de températures utilisée (0° à 250° C).

Les cylindres de verre sortant de l'usine ont une épaisseur de 0,5 à 1 mm. Pour obtenir des épaisseurs plus faibles, il faut les étirer et avoir soin de sélectionner les sections de diamètre et d'épaisseur bien constants.

Après soufflage les compteurs sont nettoyés à l'acide acétique, à l'alcool et enfin à l'eau distillée, pour éliminer les poussières et les traces de graisse.

Les compteurs peuvent se terminer par un robinet en verre Novo et un rodage conique femelle n° 1 (1) permettant une jonction facile sur la rampe de pompage (figure 18). Sur d'autres modèles, à scellement définitif, la canalisation de remplissage peut être latérale (2) ou axiale (3).

Les sorties anodiques des compteurs Pyrex sont des tiges de tungstène de 0,5 mm de diamètre ($\alpha_{000}^{300} = 45.10^{-7}$). Pour le verre novo, j'utilise le copperclad ($\alpha_{000}^{300} = 90.10^{-7}$) qui se soude à ce verre. Dans le cas de l'UVK-1 et de l'UVK-2, les sorties restent en copperclad, mais les extrémités du compteur sont en verre Novo qui se soude directement au cylindre d'UVK-1 ou d'UVK-2.

La longueur utile de l'anode est constituée par un fil de tungstène dégraphité et soigneusement calibré. Son diamètre est de 25 ou 100 microns. Les travaux de J.D. GRAGGS, W. BOSLEY et A.A. JAFFE (72), M. CHAUDHRI et A.G. FENTON (73), A.G. FENTON et E.W. FULLER (74) ont montré que, pour un bon fonctionnement du compteur, le rapport du diamètre b du cylindre au diamètre a du fil doit être compris entre certaines limites (50 à 350 environ). Je me suis toujours placé dans ces conditions.

REALISATION DE DETECTEURS DE PETIT DIAMETRE (75)

La construction et le remplissage d'un compteur sont d'autant plus difficiles que le diamètre de la cathode est plus faible. Pour éprouver la technique de fabrication adoptée ici, je me suis appliqué à réaliser des compteurs de très petit diamètre. De tels détecteurs présentent un grand intérêt pratique dans les mesures d'irradiations locales particulièrement en médecine et en chirurgie, ainsi que dans les spectrographies de rayons X, où ils évitent tout système de fente.

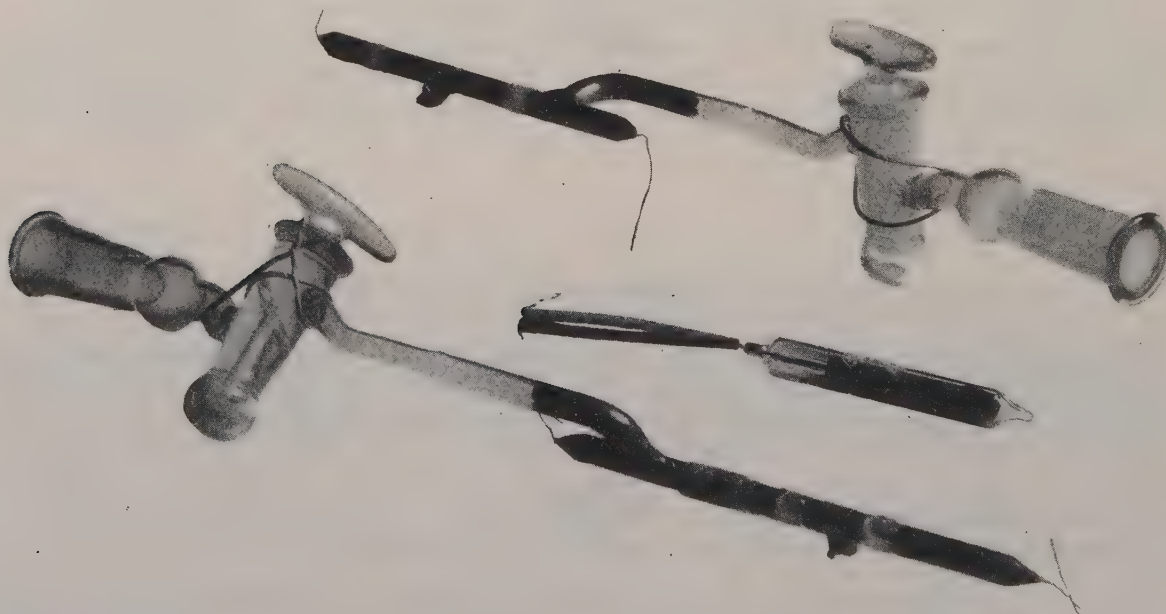
La réalisation de compteurs à cathode interne devient très délicate - particulièrement au point de vue mécanique - lorsque l'on désire un diamètre interne b inférieur à 1 cm (76). Les études principales concernant des compteurs classiques de petites dimensions sont celles de J.R. DUNNING et S.M. SKINNER (77), A.H. BARNES (78), J.C. WANG et alii (79)

(modification du compteur de BARNES, $b = 6$ mm), L.F. CURTISS (80) (compteurs argon-alcool de $b = 3$ mm, compteur aiguille de $b = 0,8$ mm rempli d'acétate d'amyle-argon, et présentant une pente de 50% par 100 volts), E. STRAJMAN (81), C.V. ROBINSON (82), E.R. RAE (83). C.V. ROBINSON et R.E. PETERSON (84) ont étudié les conditions optima de construction de compteurs éther-argon, pour b allant de 3 à 7 mm. L'une des réalisations les plus récentes est celle de W. DREBLOW et W. STREMMER (85) qui fabriquent des compteurs à cathode d'aluminium et fil de platine, pour $b = 3$, $b = 4$ et $b = 5$ mm. Pour un compteur de 5 mm de diamètre intérieur, long de 3 cm, le palier est de 100 à 150 volts, la pente de 20 à 30% par 100 volts. Le seuil est de 750 volts, le fond de 3 impulsions par minute.

En ce qui concerne les compteurs à parois de verre, aucun auteur n'a jusqu'ici donné les caractéristiques de détecteurs de petit diamètre, et il semblait même qu'il n'était pas possible de réaliser des compteurs de bonne qualité pour des diamètres inférieurs à 1 cm (53).

J'ai fabriqué des séries de compteurs en verre novo, ayant des diamètres intérieurs de 4 et 5 mm, et une épaisseur de paroi de 0,5 mm. L'anode de tungstène ($a = 25$ microns), est tendue par étirage du verre. Le centrage du fil n'a pas besoin d'être très précis. Le détecteur ainsi obtenu est très simple et peu coûteux.

La photographie VI représente deux de ces compteurs ($b = 5$ mm).



- PHOTOGRAPHIE VI - Microcompteurs à coque de verre ($b = 5$ mm)

Un détecteur miniature C.S.F. à halogène sert de comparaison, et le papier millimétré donne l'échelle.

Pour scellement définitif, le compteur est terminé par un queuezot axial du modèle de la figure 18 (type (3)).

Le remplissage est classique : méthylal sous la pression de 1 cm de mercure et argon sous la pression de 8,5 cm de mercure. Les caractéristiques de comptage ne sont satisfaisantes que pour une longueur efficace supérieure à 1 cm. Le volume sensible minimum est donc de 200 mm³ environ.

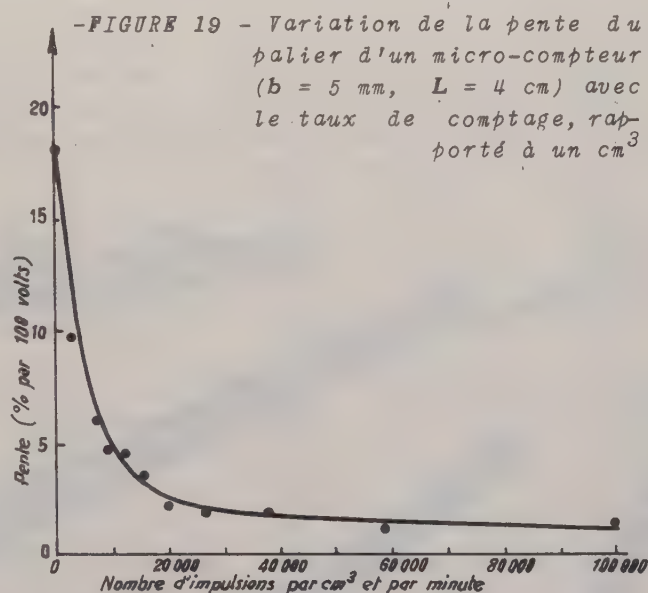
Ainsi réalisé, un compteur long de 4 cm ($b = 5$ mm) présente, pour un taux de comptage de 7 200 impulsions par minute, un palier de 800 volts, possédant une pente de 5% pour 100 volts. Le seuil est alors de 880 volts. A cause de la paroi de verre, la pente diminue lorsque le taux de comptage augmente – comme je le préciserai plus loin – et la figure 19 donne cette variation (seuil du circuit associé = 1 volt, résistance anodique = 2 mégohms).

Les compteurs ont des performances aussi bonnes que celles de compteurs de même construction, mais de plus grands diamètres.

Dans les conditions des expériences, le fond est de 1,8 impulsion par minute et par centimètre de longueur efficace du cylindre. Pour le fond, le seuil de Geiger est de 820 volts, le seuil de démarrage de 800 volts, pour un seuil de circuit égal à 0,01 volt, la longueur de palier de 225 volts.

Leur temps de vie sera étudié dans la cinquième partie de ce mémoire.

Dans une récente publication, (86) A.M. BAPTISTA, R.H. CORDEIRO et J.P. GALVAO confirment les résultats qui précèdent. Ils ont réalisé des compteurs d'un volume sensiblement égal à 1,2 cm³ ($b = 5$ mm) en utilisant un verre moins conducteur ($\rho = 3,86 \cdot 10^{12}$ ohms-cm à 20° C) que le novo, qui devrait donc, comme je le montrerai plus loin, donner pour un taux de comptage déterminé des paliers plus longs et des pentes plus faibles que le novo. Or, la pente est de 5% par 100 volts pour un taux de comptage de 20 000 impulsions par minute. Pour la même irradiation, la pente des compteurs décrits ici est de 3,8% par 100 volts (figure 19).



DETERMINATION PRECISE DU VOLUME EFFICACE (87)

Une contribution importante à la pente du palier provient de la variation de la longueur efficace L du compteur avec la surtension. On limite, en général, l'anode par deux électrodes de garde, et L est alors inférieure à la distance qui sépare ces électrodes. Le calcul théorique de L est très difficile : il faut, non seulement tenir compte de la répartition des lignes de force du champ électrique (88) mais aussi de la diffusion latérale des électrons produits dans l'événement ionisant initial et dans les décharges de TOWNSEND ultérieures (89). Il en résulte des calculs pénibles, et les déterminations les plus valables sont effectuées par expérimentation directe (89), (90), (91), (92).

Pour la disposition des sections graphitées utilisées (fig. 18) chaque section du cylindre à la haute tension qui entoure la zone placée au sol contribue à limiter le volume sensible. L est donc comprise entre la longueur graphitée à la masse L_c et la distance $L_c + L_i$ séparant les deux sections placées à la haute tension. Ce fait explique l'ordonnée à l'origine de la courbe (1) de la figure 5.

1 - Pour mesurer L , j'ai utilisé des compteurs à cathode multiple du modèle représenté sur la figure 7, mais en supprimant toutes les perles, chaque section fonctionnant séparément lorsque toutes les autres sont placées à la tension du fil. Ce dispositif équivaut à une série de compteurs de même diamètre, de remplissages identiques donc de même efficacité, mais de longueur L_c variable. La photographie VII représente un certain

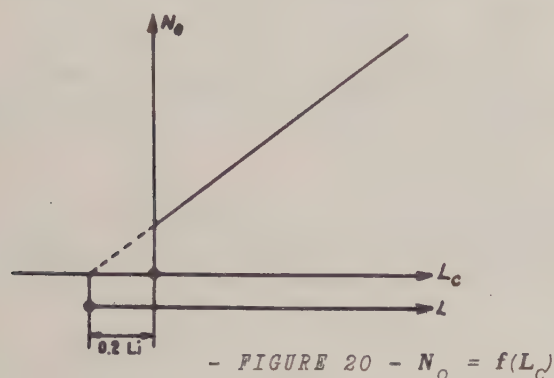


- PHOTOGRAPHIE VII -

- Réalisations diverses de compteurs à cathode multiple -

nombre de compteurs de ce type. Le remplissage utilisé est classique : méthylal (1 cm de mercure) + argon (8,5 cm de mercure).

Le compteur étant placé dans un flux radioactif uniforme, le taux de comptage N_0 pour le seuil de Geiger porté en fonction de L_c varie linéairement, mais présente une certaine ordonnée à l'origine (figure 20).



L'intersection de cette droite avec l'axe des abscisses donne la valeur exacte de L . Quelle que soit la nature du verre, pour des diamètres allant de 0,5 à 3 cm :

$$L = L_c + 0,2 L_i$$

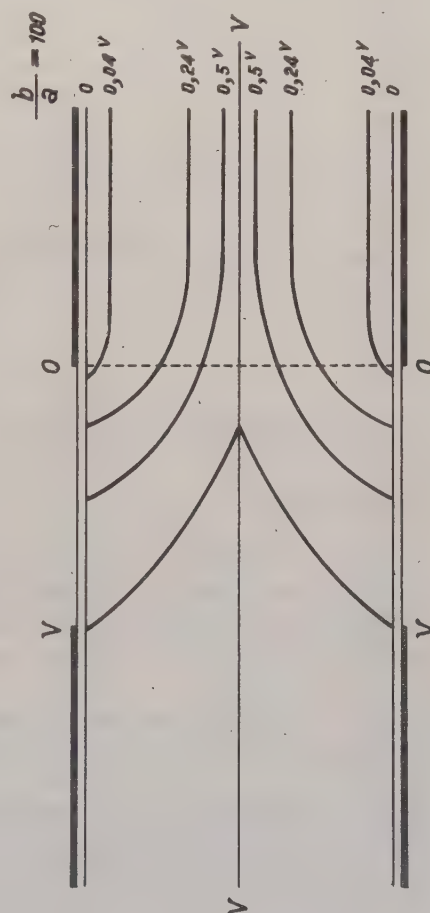
cette relation étant valable pour le seuil de Geiger.

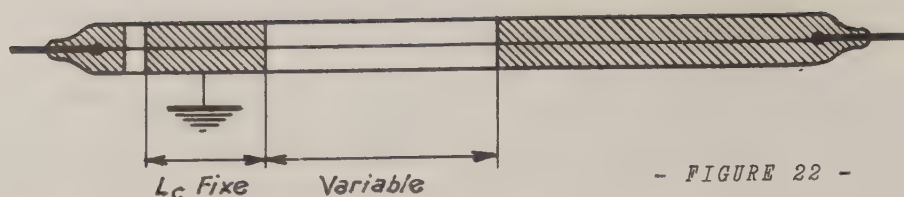
La figure 21 donne un schéma de la répartition des équipotentiellles à l'extrémité de L_c . Cette répartition est fonction de $\log_e (b/a)$ qui varie relativement peu d'un compteur à l'autre, b/a allant de 80 à 350 pour tous les compteurs utilisés, et L_i est le seul paramètre important.

2 - Les expériences qui précèdent, ont été faites pour L_i inférieur ou égal à 4 cm. La vérification de la formule ainsi établie pour des valeurs de L_i beaucoup plus grandes est réalisable à l'aide de compteurs du modèle représenté sur la figure 22, où la valeur de L_i peut être 3 ou 4 fois plus grande que L_c . La figure 23 donne le taux de comptage N_0 en fonction de la longueur ($L_c + 0,2 L_i$), pour un compteur de 3 cm de diamètre : la courbe obtenue est une droite passant par l'origine; la relation a été vérifiée pour des valeurs de L_i allant jusqu'à 40 cm.

La pente du palier augmente avec L_i , en même temps que sa longueur diminue, ce qui confirme les résultats obtenus antérieurement (19).

Figure 21 - Répartition schématique des équipotentiellles à l'extrémité de L_c , pour $\frac{b}{a} = 100$ →





- FIGURE 22 -

Répartition des sections isolées utilisées pour déterminer la longueur efficace

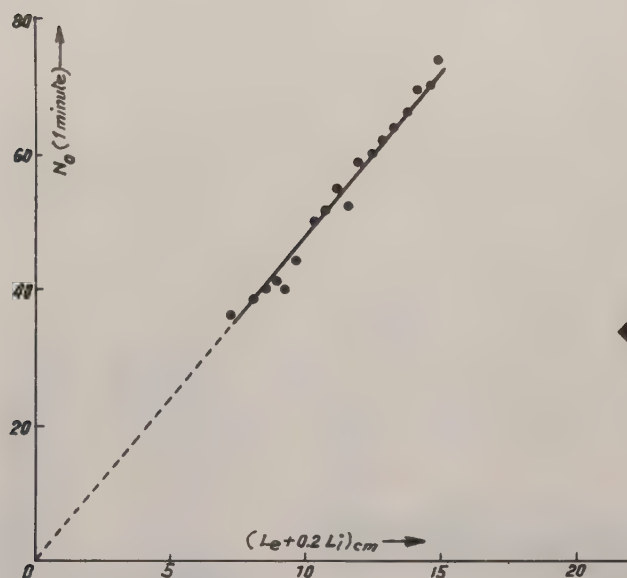


FIGURE 23 - Taux de comptage N_0 pour le seuil de GEIGER en fonction de $(L_e + 0,2 L_i)$. Flux radioactif uniforme.

INFLUENCE DU RAPPORT L/b SUR LA COURBE DE PALIER

Introduction -

Dans ce qui suit seront étudiés de nombreux remplissages; les valeurs des seuils correspondant à une valeur donnée de b n'ont un sens que si la longueur efficace L n'a pas d'influence. Or, les effets d'extrémité étudiés plus haut peuvent créer des effets parasites.

L'influence du rapport L/b n'a jusqu'ici, été étudiée que dans deux publications relatives à des compteurs à cathode interne métallique.

1. M. CHAUDHRI et A.G. FENTON (73) limitent la partie efficace de l'anode par des tubes capillaires de pyrex ou de laiton de 5 mm de diamètre. Ils utilisent un remplissage d'alcool (2,3 cm de mercure) et d'argon (7,7 cm de mercure). Par déplacement des électrodes de garde, L/b peut varier de un à cinq. Le seuil est indépendant de L pour $L/b \geq 2$. Avec un capillaire

de pyrex, pour $L/b = 2$, la longueur de palier passe par un maximum. Les résultats obtenus avec un capillaire de laiton sont plus difficiles à interpréter.

2. H.L. DE VRIES et G.M. BARENDSEN (93) utilisent des électrodes de garde métalliques de 4 mm de diamètre, placées à la masse et terminées par une partie conique délimitant la longueur efficace avec plus de précision. Par déplacement de ces électrodes, L/b varie de 0,5 à 20. Le seuil n'est constant que au dessus de $L/b = 15$. La longueur de palier passe par un maximum pour $L/b = 1,9$. Leur étude portait sur un seul compteur rempli d'alcool (1,6 cm de mercure) et d'argon (10 cm de mercure).

Pour les compteurs à graphitage externe étudiés ici, les électrodes de garde ont le diamètre de la cathode et sont placées à la haute tension; la répartition des lignes de force est différente et une étude complète est nécessaire.

Etude expérimentale -

Les expériences ont été faites, sous irradiation très faible, sur des compteurs de grande longueur et de 2 ou 3 cm de diamètre. Les longueurs efficaces voulues étaient obtenues par graphitages successifs de la surface de verre. Quatre compteurs ont été étudiés (alcool : 1 cm de mercure + argon : 8,5 cm de mercure) pour des seuils de circuit allant de 0,03 à 1 volt.

La figure 24 donne la variation des potentiels de V_D (0,03 V), V_G et V_M en fonction de L/b , pour un compteur de 3 cm de diamètre. Cette variation est identique pour $b = 2$ cm.

La figure 25 donne la variation de la longueur de palier ($V_M - V_G$) et de la pente (% par 100 volts) pour le même compteur. Mêmes résultats pour les autres compteurs étudiés.

Figure 24 - ➔

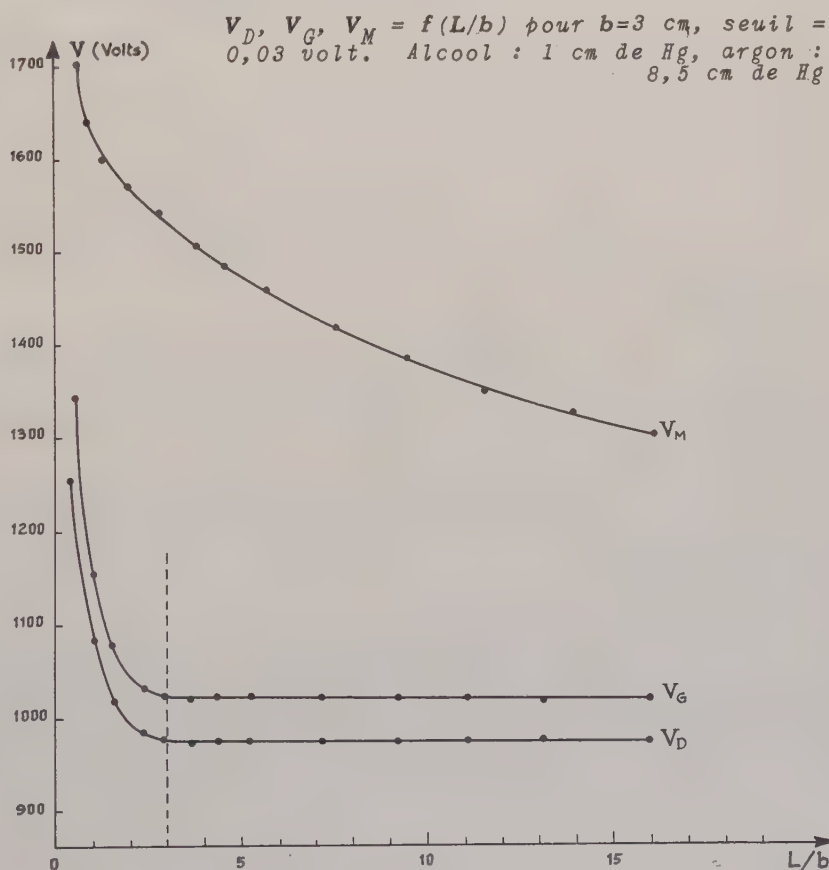
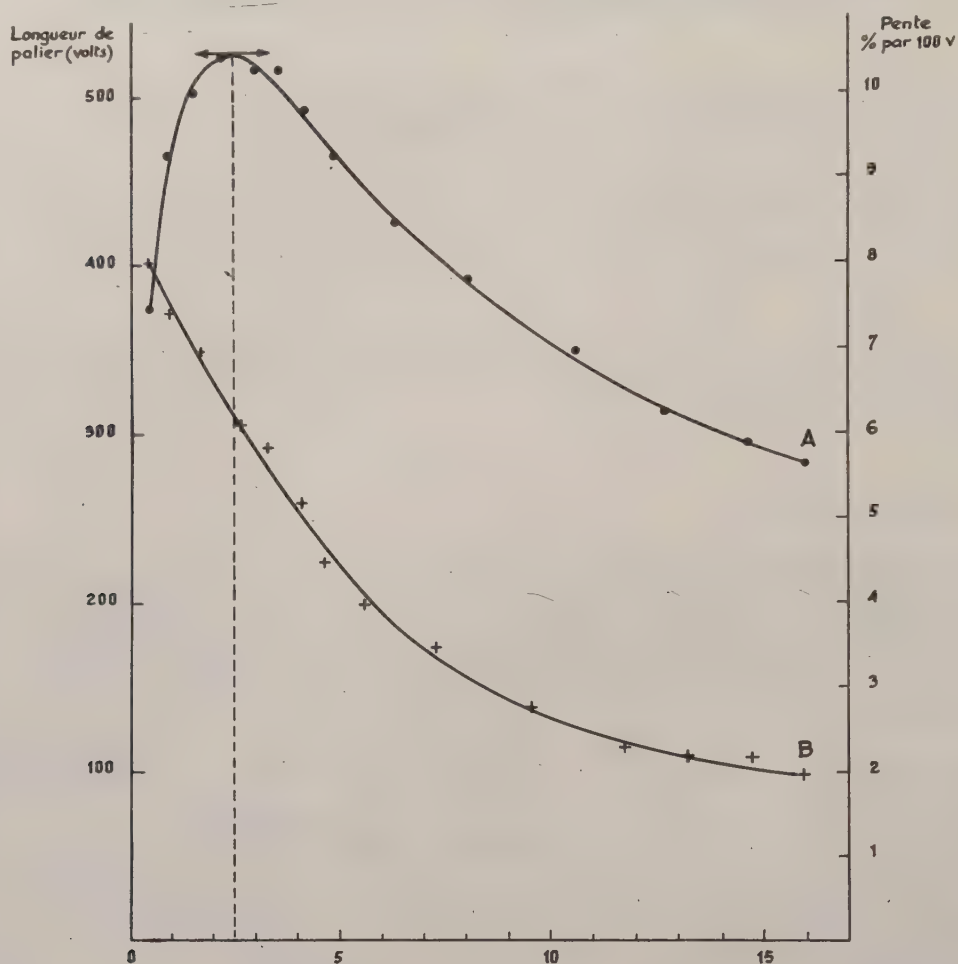


FIGURE 25 - Longueur de palier (A) et pente (B) en fonction de L/b pour $b = 3$ cm
 Seuil = 0,03 volt, Alcool : 1 cm de Hg, Argon : 8,5 cm de Hg



Conclusion -

1. V_D et V_G sont indépendants de L pour $L/b \geq 3$, aux erreurs expérimentales près (5 volts). Leur valeurs données plus loin correspondent à $L/b > 3$. Je montrerai que le résultat obtenu est identique pour des remplissages de vapeur pure (voir page 111).

2. La pente diminue lorsque L augmente. Ceci confirme le résultat connu que la construction d'un compteur est d'autant plus facile que sa longueur est plus grande.

3. La longueur du palier passe par un maximum pour $L/b = 2,5$. Pour $L/b < 2,5$, l'effet prépondérant vient de la distorsion du champ électrique aux extrémités du compteur. Par contre, pour $L/b > 2,5$, intervient l'augmentation du nombre d'ions arrivant sur le cylindre par impulsion, qui accentue la probabilité d'émission secondaire sur la cathode.

SECONDE PARTIE

Chapitre 1

ROLE DE LA ZONE TERMINALE DE LA REGION DE PROPORTIONNALITE LIMITEE DES COMPTEURS AUTOCOUPEURS

INTRODUCTION

La structure des compteurs à parois de verre et graphitage externe les adapte parfaitement à des irradiations très faibles, et les expériences - même les plus récentes - concernant leur mécanisme et leurs applications ont été faites à des taux de comptage modérés, leur domaine d'application essentiel étant jusqu'alors celui du rayonnement cosmique. Les valeurs maxima des taux de comptage, en nombre d'impulsions par minute, que l'on peut relever dans la littérature (jusqu'en 1954) sont les suivantes :

- R. MAZE (1946, (6) : 300
- D. BLANC (1949), (23) : 2 000
- P. BASSI et E. BERETTA (1949), (27) : 3 600
- M. YASIN, R. AHMED et P.S. GILL (1951), (37) : 4 200
- M. GRENON et R. VIALARD (1952), (53) : 8 000
- R. FAVRE et C. HAENNY (1953), (31) : 12 000
- M. CELMA, J.A. GARCIA-FITE et R. SEGOVIA-TORRES (1953) (94) :
3 000
- A. ARON (1953), (95) : 1 600
- S. MICHALAK, B. MOWCZAN et A. ZAWADZKI (1954), (63) : 9 000.

Une étude rapide du comportement des compteurs novo sous irradiation intense montre que le seuil de Geiger augmente très rapidement avec le taux de comptage, en même temps que la zone de proportionnalité limitée s'élargit. Ce phénomène a été qualifié à tort de "saturation" par

certain auteurs (53). Par contre, la stabilité demeure parfaite, la pente diminue à mesure qu'augmente le taux de comptage, et la longueur du palier s'accroît : ils gardent ainsi toutes leurs qualités (96), et le problème de l'adaptation de ces compteurs à des irradiations intenses est des plus importants.

Les auteurs cités ci-dessus n'ont pas constaté une variation sensible du seuil de Geiger parce que, pour des taux de comptage modérés, l'apport de charge sur la paroi interne du cylindre de verre est faible, dans la région de proportionnalité limitée où les impulsions sont de petite taille. Par contre, si le nombre d'impulsions par unité de temps est très grand, la paroi interne commence à se charger dans cette région, son potentiel par rapport à la masse augmente : il en résulte que le seuil de Geiger extérieur est repoussé vers les tensions élevées.

MECANISME DE LA DECHARGE DANS LA ZONE DE PROPORTIONNALITE LIMITEE

Pour une tension de fonctionnement donnée, désignons par n le nombre d'électrons formés dans l'avalanche initiale, à partir d'une paire d'ions créée dans le volume sensible, et γ le nombre moyen de photoélectrons produits par paire d'ions (γ est très petit devant l'unité). Il en résulte γn photoélectrons qui, à leur tour, déclencheront une avalanche secondaire de γn^2 électrons. En résumé, le nombre total A d'électrons produits à partir d'une paire d'ions primaire est :

$$A = n + \gamma n^2 + \gamma^2 n^3 + \dots$$

n dépendant de la tension utilisée.

1. $\gamma n < 1$: le compteur est dans la zone de proportionnalité et A est le coefficient d'amplification :

$$A = \frac{n}{1 - \gamma n}$$

a - Si n est très faible, A est pratiquement égal à n , ce qui revient à dire que l'effet photoélectrique est négligeable : on se trouve dans la région de proportionnalité vraie.

b - Si n est plus grand, A devient nettement supérieur à n . Les effets de la charge d'espace se font sentir et le compteur fonctionne en proportionnalité limitée.

2. $\gamma n > 1$: la série est divergente, A devient infini et une décharge

électrique se propage le long du fil; le compteur est dans la zone de résolution; le mécanisme est celui décrit dans l'Introduction.

La tension pour laquelle $n = 1$ est le seuil de Geiger V_G . J'utiliserai dans ce qui suit la définition donnée par S.A. KORFF (97) V_G est la tension la plus faible pour laquelle la décharge se propage tout le long du fil, l'impulsion électrique produite étant la même quel que soit le nombre d'ions formés dans l'évènement ionisant initial. La valeur de V_G ainsi définie peut subir certaines fluctuations statistiques mais qui sont nettement inférieures à l'erreur de lecture possible sur la tension appliquée (5 volts).

V_G peut donc être mesuré :

a- Par l'égalisation des impulsions, décelée sur l'écran d'un oscillographe cathodique. A.D. KRUMBEIN (98) a utilisé ce procédé pour déterminer la quantité minimum de valeur polyatomique permettant une autocoupure sensible.

b- Par procédé graphique, déduit de la construction de la courbe du palier : au dessus de V_G , la caractéristique devient linéaire. Ce procédé est le plus sûr lorsque l'intervalle de temps moyen séparant deux impulsions successives est inférieur au temps de restitution du compteur, la taille des impulsions étant alors variable.

Chacun de ces procédés constitue un contrôle de l'autre, et ils ont toujours été employés simultanément.

Soit V la tension de fonctionnement, un peu inférieure à V_G . Pour une irradiation donnée, les impulsions sont de taille variable (99). Soit $\bar{q}$ la charge moyenne par impulsion, N le nombre d'impulsions dans le compteur par seconde. Le circuit ($R_1 - C_1$) équivalent à la paroi de verre (figure 2) charge la surface interne du cylindre au potentiel v par rapport à la masse. Si $I(t)$ est l'intensité du courant qui traverse la coque de verre :

$$v = R_1 I(t) - R_1 C_1 \frac{dv}{dt}$$

$$v + \theta_1 \frac{dv}{dt} = R_1 \times I(t) \quad (1)$$

Si θ_1 est grand par rapport à la durée d'une impulsion, ce qui est le cas pour tous les verres utilisés, et si N est assez grand, le terme $\theta_1 \frac{dv}{dt}$ est négligeable pendant la durée d'une impulsion, et :

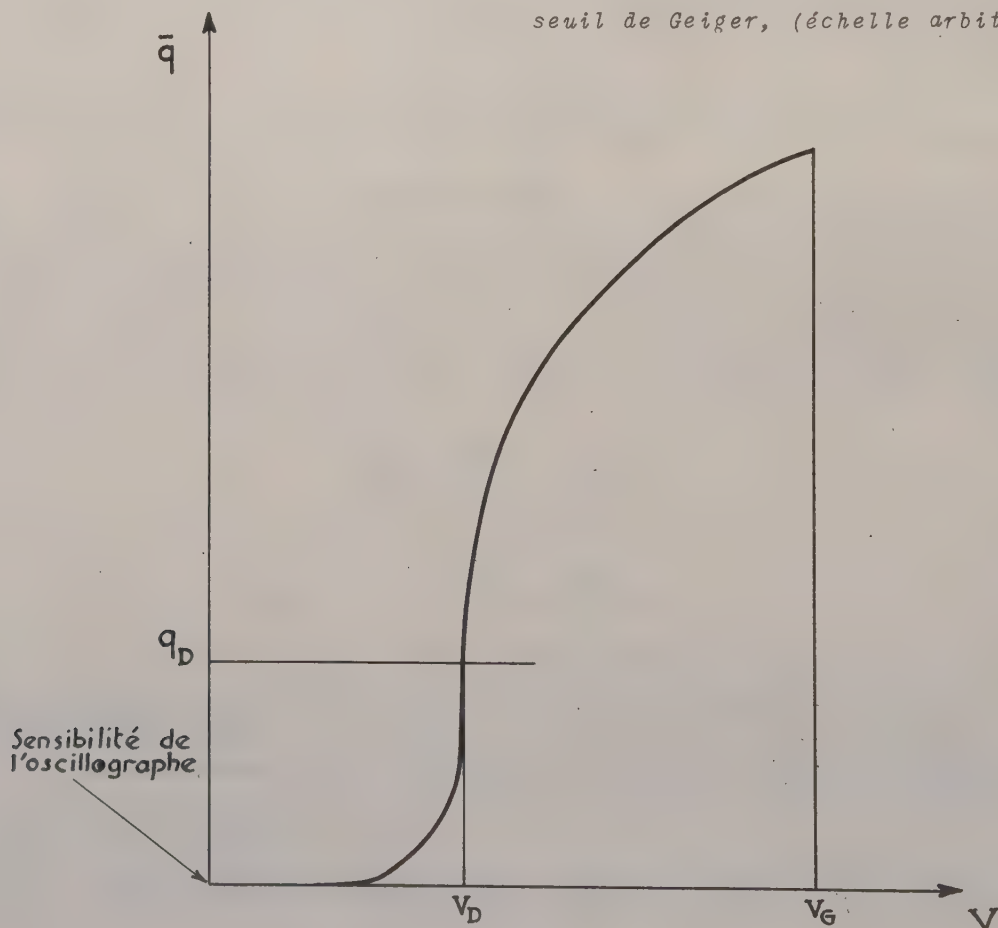
$$I(t) = \bar{q} N$$

$$v = N \bar{q} R_1 \quad (2)$$

TAILLES DES IMPULSIONS DANS LA REGION DE PROPORTIONNALITE LIMITEE (100)

1 - Pour établir un résultat général, j'ai d'abord étudié la variation de $\bar{q}$ avec V pour des compteurs à parois métalliques sous irradiation gamma sensiblement monoénergétique (1,17 - 1,33 MeV); les expériences furent ensuite généralisées aux compteurs à coque de verre. Les impulsions sont repérées sur l'écran d'un oscillographe cathodique à balayage déclenché (capacité d'entrée = 20 picofarads). Seules les impulsions de taille supérieure à 0,005 volt sont comptées. La variation obtenue ainsi a l'aspect donné par la figure 26. La courbe, partant tangentielllement de l'axe des V croit ensuite presque verticalement, pour prendre enfin une allure parabolique jusqu'à V_G . Si le seuil du circuit associé est convenablement choisi, (ce point sera traité plus loin), la charge q_d minimum détectable tombe dans la région verticale, et la portion de courbe située au dessus de cette valeur peut être assimilée à une parabole d'axe OV et de sommet V_D , tension pour laquelle le circuit commence à enregistrer des impulsions. Une certaine variation de q_d n'entraînera pas de variation appréciable de V_D .

- FIGURE 26 - Variation de q avec V au dessous du seuil de Geiger, (échelle arbitraire)



2 - Cette étude fut reprise sur des compteurs à cathode multiple, sans perle de verre sur le fil : la charge $\bar{q}$ est proportionnelle à la longueur efficace L .

3 - On peut donc représenter $\bar{q}$ par la formule :

$$\bar{q} = B L \sqrt{V - V_D} \quad (3)$$

B étant le paramètre de fonctionnement dans cette région de transition qui précède le seuil de Geiger.

La formule donne $\bar{q} = 0$ pour $V = V_D$; elle ne tient pas compte de la variation exponentielle de $\bar{q}$ avec V (zone proportionnelle) au dessous de V_D . Mais les tailles d'impulsions sont alors totalement négligeables devant celles correspondant à $V > V_D$.

Enfin, pour $V = V_G$, toutes les impulsions prennent la charge uniforme q , donnée par :

$$q = B L \sqrt{V_G - V_D} \quad (4)$$

P.J. CAMPION (1954), (101), photographiant les décharges d'un compteur placé à l'intérieur d'une chambre de Wilson, a confirmé l'existence de cette zone de transition, caractérisée par une répartition statistique importante des tailles d'impulsions. Sa largeur est de 40 V pour des remplissages alcool isoamylique-argon. Les résultats donnés plus loin montrent que les largeurs obtenues pour des remplissages éthanol-argon, méthylal-argon, formiate d'éthyle-argon sont du même ordre.

INFLUENCE SUR LA VALEUR EXTERNE DU SEUIL DE GEIGER

Pour un compteur à coque de verre, la valeur V_G à introduire dans l'équation (4) est celle mesurée sous irradiation très faible, pour laquelle v est négligeable. Cette valeur sera désignée par V_G^0 . Pour un taux de comptage de N_0 par seconde au seuil de Geiger, l'augmentation extérieure du seuil est, d'après (2) :

$$\Delta V_G = N_0 (B L \sqrt{V_G^0 - V_D}) R$$

e étant l'épaisseur de la paroi de verre :

$$\Delta V_G = B N_0 \rho \frac{e}{\pi b} \sqrt{V_G^0 - V_D} \quad (5)$$

INFLUENCE DE LA NATURE DU RAYONNEMENT

L'épaisseur e minimum réalisée est de l'ordre de 50 milligrammes par cm^2 , pour les cylindres de verre étiré. Les alphas sont donc impossibles à détecter mais les rayons bêta d'énergie supérieure à 0,2 MeV environ (102) sont détectables. Je me suis cependant contenté d'utiliser des sources gamma: l'impulsion est produite par les électrons secondaires créés par ces gammas - essentiellement sur les parois - et un gamma a les mêmes effets sur la décharge de TOWNSEND qu'une particule bêta (bien que le nombre d'électrons créés soit plus faible).

J'ai utilisé des sources de :

- *Coesium 134* - Gammas de 0,568; 0,602; 0,794 MeV. Intensité: 10 millicuries environ.
- *Cobalt 60* - Gammas de 1,17; 1,33 MeV - 5,150 et 150 millicuries.
- *Radium* - Spectre gamma complexe et étalé - 0,5 millicurie.

Aux erreurs expérimentales près, la variation de V_G avec N_0 est la même quelle que soit la nature de la source; ce résultat était prévisible puisque, dans cette bande d'énergies, les électrons créés par les rayons gamma proviennent de processus identiques.

CHOIX DU SEUIL DU CIRCUIT ASSOCIE

q_d doit couper la courbe $\bar{q} = f(V)$ dans sa région quasi-verticale : V_D sera ainsi défini sans ambiguïté et la valeur de V_G mesurée à l'aide du circuit sera la valeur exacte.

1° - Variation de V_D en fonction du seuil du circuit -

La courbe (1) de la figure 27 donne la variation de V_D dans un cas particulièrement défavorable, c'est-à-dire pour $\bar{q}$ très faible (voir plus loin) : méthylal (1 cm de mercure) + argon (38,9 cm de mercure). Géométrie du compteur : $a = 0,1$ mm; $b = 0,92$ cm et $L = 2,4$ cm.

La courbe (2) de la figure 27 correspond à un remplissage courant : méthylal (1 cm de mercure) + argon (8,5 cm de mercure) pour $a = 0,1$ mm, $b = 2,75$ cm et $L = 12$ cm.

D'une façon générale, quels que soient le remplissage et la géométrie du compteur ($0,4 \text{ cm} \leq b \leq 3,2 \text{ cm}$, $80 \leq b/a \leq 350$, $1 \leq L \leq 50 \text{ cm}$) la valeur obtenue pour V_D est constante - aux erreurs expérimentales près - pour un seuil de circuit compris entre 0,01 et 0,07 volt.

2 - Variation de la valeur de V_G obtenue avec le seuil du circuit-

Tant que q_d est inférieure à la charge par impulsion pour le seuil de Geiger, la valeur mesurée ne dépend pas du seuil du circuit associé, tout au moins lorsque les effets du temps de restitution sont négligeables. Par contre, si q_d est supérieure à cette charge, le seuil mesuré varie linéairement avec le seuil du circuit.

La courbe (1) de la figure 28 correspond au compteur (1) de la figure 27. Comme je le montrerai plus loin, l'équation (4) donne pour ce compteur, au seuil de Geiger : $q = 20,5 \cdot 10^{-12}$ coulomb. Pour une capacité anodique totale de 50 picofarads, il en résulte une tension de crête de l'ordre de 0,40 volt : le seuil du palier mesuré varie en effet sur la courbe (1) avec le seuil du circuit associé lorsqu'il est supérieur à 0,41 volt.

La courbe (2) de la figure 28 correspond au remplissage classique méthylal (1 cm de mercure) et argon (8,5 cm de mercure) dans un compteur de $a = 0,1$ mm, $b = 2,71$ cm et $L = 17,5$ cm. La charge au seuil de Geiger, d'après (4) est : $q = 755 \cdot 10^{-12}$ coulomb, soit une tension de crête de 15 volts. La concordance avec la courbe (2) est excellente.

D'une façon générale, tout circuit de seuil inférieur à 0,2 volt, donnera la valeur exacte de V_G .

FIGURE 27 - Variation de V_D avec le seuil du circuit associé

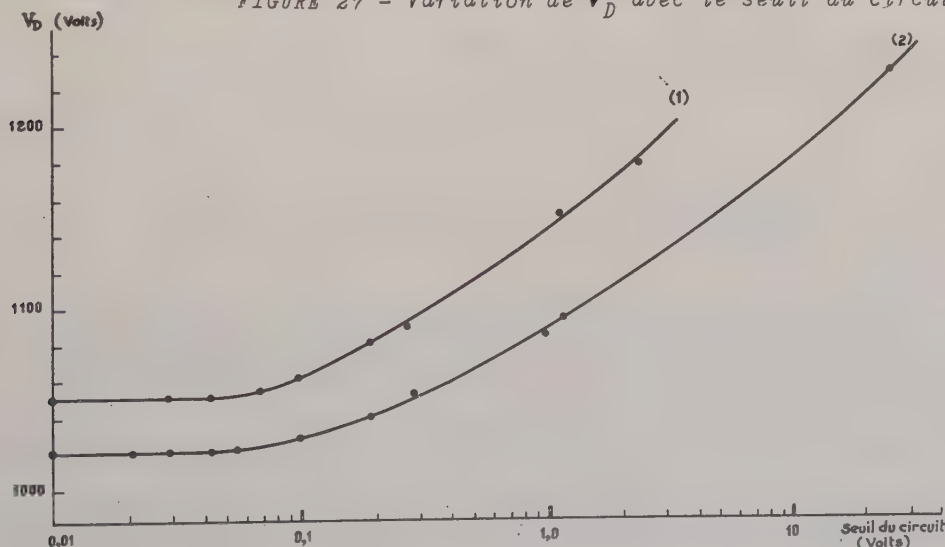
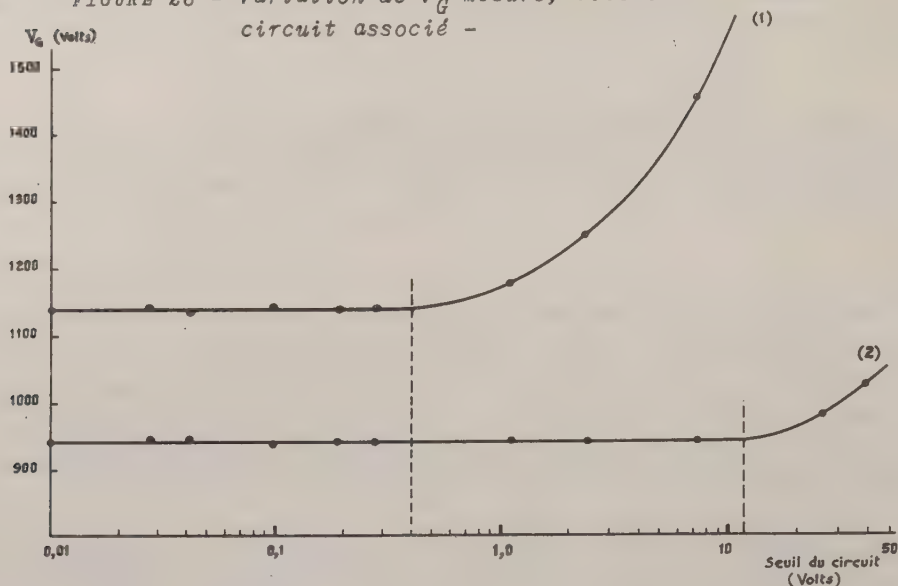


FIGURE 28 - Variation de V_G mesuré, avec le seuil du circuit associé -



3 - Conclusion -

En se plaçant dans les conditions les plus défavorables :

a - Tout seuil inférieur à 0,07 volt donnera les valeurs exactes de V_D et V_G à introduire dans (3) et (4).

b - Tout seuil inférieur à 0,2 volt mais supérieur à 0,07 volt donnera la valeur exacte de V_G , mais V_D devra être déterminé à l'aide d'un oscillographe cathodique auxiliaire.

Pour les remplissages courants, les valeurs des seuils utilisables sont, comme le montrent les exemples cités, beaucoup plus élevées.

Sauf mention spéciale, toutes les expériences qui suivent ont été faites avec un seuil de 0,03 volt.

DETERMINATION EXPERIMENTALE DE B

La résistivité du pyrex (tableau II) est, à la température ambiante, trop élevée pour que des mesures soient possibles. Les expériences ont porté sur des compteurs novo, UVK-2 et UVK-1.

1 - Remplissage standard : méthylal (1 cm) + argon (8,5 cm de mercure)

Des séries de six compteurs de géométries identiques, remplis simultanément, ont été étudiées, et le tableau III donne les résultats

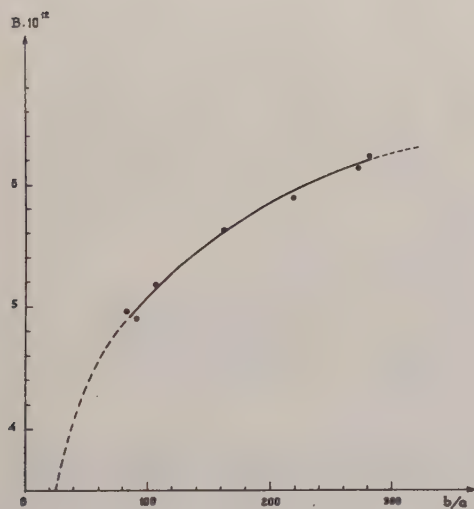
obtenus à $20^{\circ} \text{ C} \pm 1^{\circ}$ sur chaque série. L'équation (4) se vérifie parfaitement tant que le taux de comptage reste inférieur à une certaine valeur N_R (figure 37); au dessus de N_R , la variation est plus lente et le seuil extérieur tend vers une valeur limite. Dans la plupart des applications pratiques, le détecteur est utilisé dans la région de variation linéaire et N_R correspond à une irradiation gamma assez intense. Je reviendrai plus loin sur cette question.

La droite : $\Delta V_G = f(N_o)$ permet de calculer B , ainsi que sa variation en fonction de b/a (figure 29) et de $\log_{10} (b/a)$ (figure 30). B est de la forme :

$$B = K \log_e (b/a) \quad (6)$$

$B = 0$ pour $b = a$. K est fonction du remplissage utilisé. Pour ce remplissage standard :

$$K = 1,10 \cdot 10^{-12}$$



- FIGURE 29 -
 Variation du paramètre B
 en fonction de b/a

- FIGURE 30 -
 Variation du paramètre B
 en fonction de $\log_{10} (b/a)$

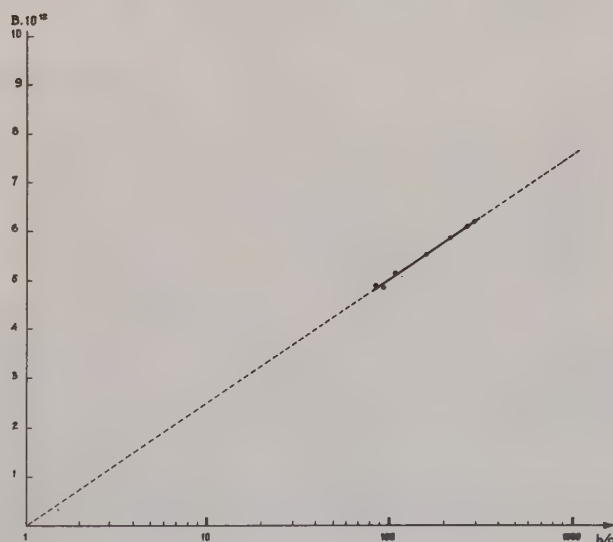


TABLEAU III

NATURE DU VERRE	UVK-1	Novo	UVK-1	UVK-1	Novo	UVK-1	Novo
b (cm)	0,83	0,92	1,075	1,63	0,55	2,75	2,86
b/a	83	92	107,5	163	220	275	286
e (mm)	1,25	0,70	0,25	1,00	0,50	1,25	1,10
L (cm)	3,50	6,40	2,10	8,90	5,90	7,8	6,8
V_D (volts)	795	770	850	865	760	920	997
V_G^0 (volts)	840	840	935	945	800	1055	1040
ΔV_G (volts) pour $N_0 = 10 \frac{5}{mn}$	187	900	42	115	975	121	455
$B \times 10^{12}$	4,95	4,89	5,19	5,61	5,86	6,15	6,23
$K \times 10^{12}$	1,12	1,08	1,11	1,10	1,09	1,10	1,10
Ordre de grandeur de Φ d'après l'équation (16)	0,35	0,28	0,25	0,30	0,56	---	0,46
Valeur exacte de Φ	0,81	0,72	0,69	0,75	1,58	1,10	1,18

2° - Vérification à l'aide de compteurs à cathode interne -

J'ai utilisé une série de détecteurs construits par la "20th Century Electronics" (103). Leur remplissage est constitué d'argon (9 cm de mercure) et d'une vapeur polyatomique, ethanol ou formiate d'éthyle (1 cm de mercure).

Entre le cylindre et la masse est intercalé un système résistance - capacité de valeur comparable à celui qui équivaut à la coque de verre d'un compteur à graphitage externe courant. Ce procédé a été employé par A. ARON (95) en vue d'autres applications. Les effets observés sont identiques à ceux obtenus plus haut ce qui confirme que la coque de verre est seule responsable des phénomènes obtenus.

Le palier est fortement modifié par le taux de comptage : la figure 31 donne la variation correspondant à un taux de comptage N_0 de 616.000 impulsions par minute pour un compteur type G - 10, avec $R_1 = 105$ mégohms et $C_1 = 2000$ picofarads. Le palier normal (1) vient glisser en (2) après introduction du système ($R_1 - C_1$) :

- (1) - Seuil = 1050 volts. Palier de 125 volts. Pente de 1,5% pour 100 V -
- (2) - Seuil = 1300 volts. Palier de 700 volts. Pente de 0,28% pour 100 V -

L'introduction de ce système (**R-C**) augmente considérablement la stabilité des détecteurs à cathode interne. Le tableau IV donne une série de résultats et confirme que :

- 1 - **B** est bien de la forme donnée par les équations (5) et (6).
- 2 - **K** ne dépend pas de la nature du constituant polyatomique.

- TABLEAU IV -

MODELE DU COMPTEUR	G - 10	G - 26	M - 6
Vapeur organique	Formiate d'éthyle	Formiate d'éthyle	Ethanol
R_1 (ohms)	$2 \cdot 10^8$	$1,5 \cdot 10^8$	$2 \cdot 10^8$
C_1 (picos)	10 000	2 000	10 000
$R_1 C_1$ (sec)	2	0,22	2
b (cm)	2,2	3,15	1,6
b/a	173	248	126
L (cm)	10,5	26	6
V_D (volts)	965	950	935
V_G (volts)	1020	996	1015
ΔV_G pour $N_0 = 10^5$ mn	150	368	95
$B \cdot 10^{12}$	5,75	5,96	5,27
$K \cdot 10^{12}$	1,12	1,08	1,09
Ordre de grandeur de Φ d'après (16)	0,35	0,44	0,26
Valeur exacte de Φ	0,95	1,34	0,76

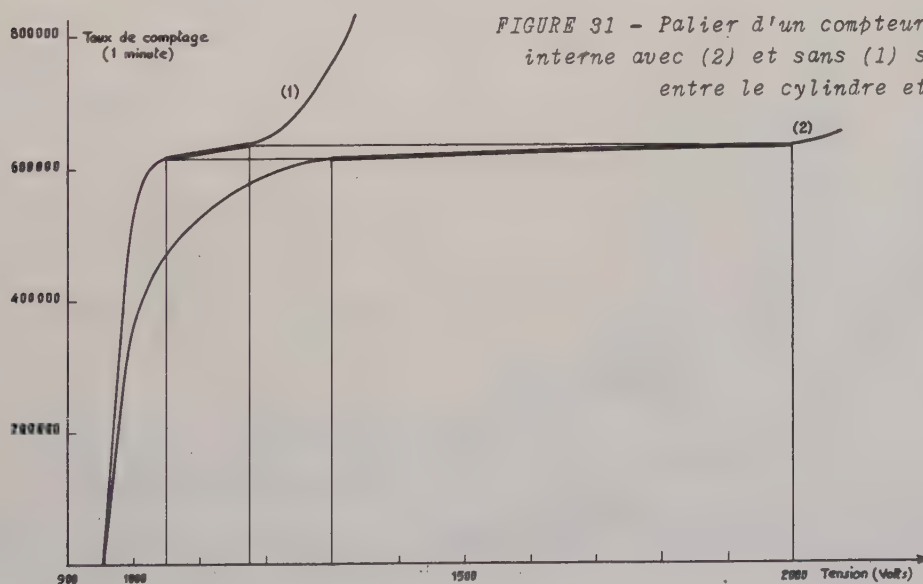


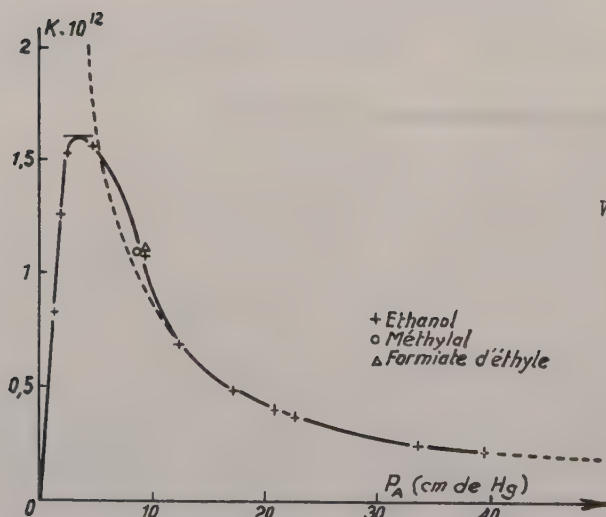
FIGURE 31 - Palier d'un compteur à cathode interne avec (2) et sans (1) système R-C entre le cylindre et la masse

3° - Variation de K avec la pression P_A de l'argon -

Des séries de six compteurs identiques, remplis d'éthanol sous la pression de 1 cm de mercure ont été expérimentées avec des pressions partielles d'argon allant de 1,1 à 39,4 cm de mercure. Le tableau V résume les résultats et la figure 32 donne la variation de K avec P_A .

- TABLEAU V -

Verre	Novo	Novo	Novo	Novo	Novo	Novo	Novo	Novo	UVK-1	Novo	Novo
Ethanol (cm Hg)	1	0,5	1	1,1	1	1	0,7	1	1,1	1	1
Argon (cm Hg)	1,1	1,7	2,2	3,5	4,5	12,3	17,2	21	22,5	33,7	39,4
b (cm)	0,91	2,04	0,91	1,10	0,91	0,92	2,10	0,92	1,07	2,88	0,94
b/a	91	204	91	110	91	92	210	92	107	288	94
e (mm)	0,7	0,8	0,7	0,7	0,7	0,7	1,0	0,7	0,25	1,0	0,7
L (cm)	6,3	14,8	6,3	6,5	6,2	6,7	12	6,4	3,2	21,0	5,0
V_D (volts)	880	705	890	905	925	910	975	1045	1000	1160	1130
V_G^0 (volts)	998	743	975	980	975	1035	1075	1175	1200	1325	1295
$B \cdot 10^{12}$	3,64	6,73	6,89	7,53	7,03	3,14	2,64	1,79	1,73	1,40	0,96
$K \cdot 10^{12}$	0,81	1,27	1,53	1,60	1,56	0,69	0,49	0,40	0,37	0,25	0,21
Ordre de grandeur de Φ (16)	0,14	0,70	0,31	0,38	0,41	0,11	0,12	0,054	0,043	0,042	0,024
Valeur exacte de Φ	0,36	1,69	0,76	0,93	0,96	0,31	0,30	0,15	0,13	0,12	0,068



- FIGURE 32 -
Variation de K avec la pression
de l'argon
(éthanol : 1 cm de mercure)

K tend vers zéro en même temps que P_A : ceci suggère l'utilisation de remplissages de vapeur pure si l'on veut limiter au maximum la variation du seuil avec le taux de comptage. La quatrième partie est consacrée à l'étude de tels remplissages. La pression de 1 cm de mercure sous laquelle l'éthanol est introduit ici est d'ailleurs insuffisante pour assurer - sans addition d'argon - le fonctionnement correct du compteur (104).

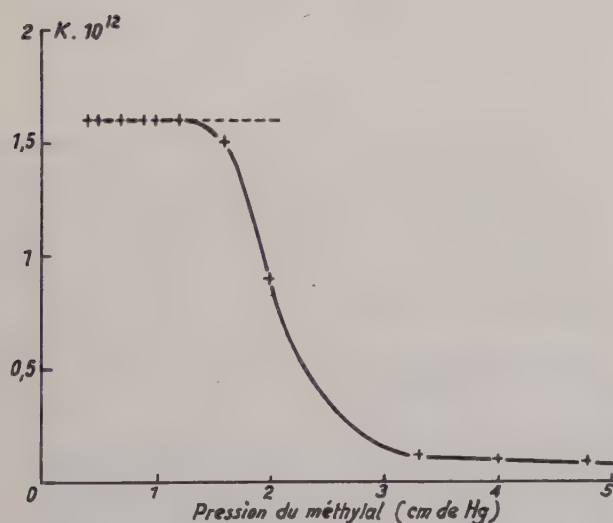
Pour $P_A \geq 12$ cm de mercure, K est donné par :

$$K = \frac{8,37 \cdot 10^{-12}}{P_A} \quad (7)$$

P étant exprimée en cm de mercure. L'hyperbole ainsi obtenue est construite en pointillés sur la figure 32.

LIMITE DE VALIDITE DES RESULTATS QUI PRECEDENT

A - Une première série d'expériences a porté sur une quinzaine de compteurs placés simultanément sur la rampe de pompage. L'argon est introduit d'abord, sous la pression de 3,5 cm de mercure, qui correspond sensiblement au maximum de la courbe $K = f(P_A)$, puis le méthylal, sous des pressions allant de 0,4 à 4,8 cm de mercure.



- FIGURE 33 - Variation de K avec la pression du constituant polyatomique ($P_A = 3,5$ cm de Hg)

La figure 33 représente la variation de K en fonction de la pression du méthylal. La valeur théorique prévue par la courbe de la figure 32 est de $1,59 \cdot 10^{-12}$. K s'écarte de cette valeur lorsque la pression dépasse 1,4 cm de mercure et tend rapidement vers zéro : ceci confirme que des compteurs à forte concentration de vapeur organique seront avantageux, sous irradiation intense.

B - Dans une seconde série de mesures, le méthylal est introduit le premier sous une pression constante, supérieure à 1,4 cm de mercure.

L'argon est ajouté sous des pressions croissantes allant de 3,5 cm de mercure à 20 cm de mercure. Par exemple, pour une pression du méthylal de 2 cm de mercure, on obtient :

PRESSION DE L'ARGON (cm de mercure)	VALEUR DE K MESUREE	POURCENTAGE DE LA VALEUR PREVUE
3,2	$0,88 \cdot 10^{-12}$	55,3 %
8,0	$0,60 \cdot 10^{-12}$	50,2 %
15,8	$0,28 \cdot 10^{-12}$	52,2 %

Pour toutes les valeurs de P_A étudiées, l'écart des résultats avec la valeur prévue par la figure 32 est constant. Cette catégorie de remplissages, intermédiaire entre les remplissages classiques et ceux de vapeur pure, encore inédits, ne présente pas d'intérêt pratique.

En résumé, les résultats expérimentaux donnés plus haut sont valables pour des pressions du constituant polyatomique inférieures ou égales à 1,4 cm de mercure.

DIRECTIVES GENERALES CONCERNANT LA REALISATION ET L'UTILISATION DE COMPTEURS A COQUE DE VERRE POUR IRRADIATIONS INTENSES

1° - Construction mécanique -

a - L'utilisation de verre UVK-1 améliore beaucoup les performances. Il est d'autre part relativement facile d'obtenir, par étirage, des épaisseurs de 0,15 à 0,25 mm.

b - La formule (6) indique que le rapport b/a doit être aussi petit que possible. Des valeurs de l'ordre de 80 sont suffisantes pour assurer au compteur des caractéristiques satisfaisantes. Il convient d'éviter pour L une valeur trop grande : on pourra, par exemple, utiliser $L = 3b$.

2° - Remplissage - Trois solutions sont possibles.

a - Vapeur polyatomique pure. Les propriétés de tels remplissages feront l'objet de la Quatrième partie de ce Mémoire.

b - Vapeur polyatomique + argon sous une pression relativement élevée. Il est difficile de dépasser $P_A = 50$ cm de mercure : au-dessus, le seuil de palier serait trop élevé; de plus, la faible valeur de la charge par impulsion en résultant nécessite un seuil de circuit assez faible (figures 27 et 28).

C - Utiliser un gaz mono- ou di- atomique additif pour lequel K est plus faible que pour l'argon. C'est le cas, en particulier, des remplissages méthylal-hydrogène.

3° - Circuit de comptage -

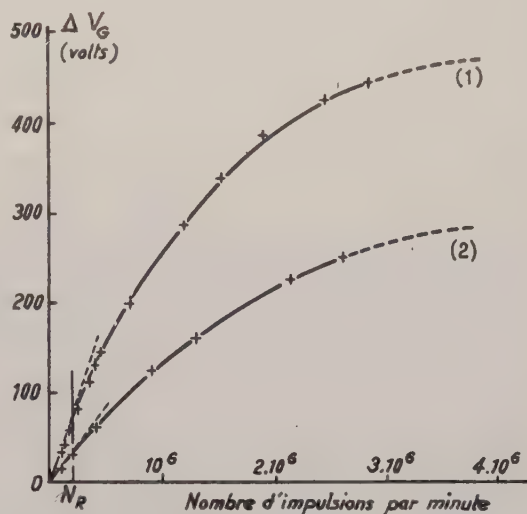
Pour tirer le parti maximum du compteur dans la région linéaire de variation de V_G , le seuil doit être inférieur à 0,2 volt. Lorsque l'intervalle de temps séparant deux impulsions successives est plus petit que le temps de restitution, la taille des impulsions est plus faible et il sera avantageux d'utiliser un circuit sensible, facile à réaliser par l'introduction d'un préamplificateur simple.

4° - Exemple de réalisation pratique -

L'exemple donné ici concerne un compteur UVK-1 de $e = 0,25$ mm, $b = 1,075$ cm, $a = 0,1$ mm, $L = 3$ cm. La longueur du palier pour le fond cosmique est de 250 volts.

La courbe (1) de la figure 34 correspond à un remplissage classique : méthylal (1 cm de mercure) + argon (8,5 cm de mercure). ΔV_G ne dépasse pas 250 volts tant que N_0 reste inférieur à 10^6 impulsions par minute.

La courbe (2) de la figure 34 correspond à un remplissage méthylal (1 cm de mercure) + argon (22,5 cm de mercure). ΔV_G ne dépasse pas 250 volts tant que N_0 reste inférieur à $2,6 \times 10^6$ impulsions par minute. Dans la région linéaire d'utilisation courante au dessous de N_R , la variation de V_G est négligeable (35 volts pour N_R). Malgré un seuil assez élevé ($V_G^0 = 1400$ volts) un tel remplissage constitue une solution intéressante.



- FIGURE 34 - $V_G = f(N_0)$ pour un compteur UVK-1. ($e = 0,25$ mm, $a = 0,1$ mm, $b = 1,075$ cm, $L = 3$ cm)

- (1) Méthylal : 1 cm de Hg + argon : 8,5 cm de Hg
- (2) Méthylal : 1 cm de Hg + argon : 22,5 cm de Hg

Chapitre 2

APPLICATIONS

MESURE DE LA RESISTIVITE DU VERRE EN FONCTION DE LA TEMPERATURE

Ces expériences ont porté sur des températures supérieures à 20° C. Plus loin (3° partie) sera décrite une seconde méthode de mesure de la résistivité, appliquée au-dessous de 20° C. Les compteurs sont placés dans une étuve dont la température est fixée à 0,5° C près.

1° - Verre Pyrex -

Sa résistivité à 20° C est de 10^{15} ω - cm environ (données du fabricant). La variation de V_G avec N_o est alors trop rapide pour permettre des mesures. A 30° C, cette variation reste rapide, mais par contre les paliers sont très longs et de pente très faible : la figure 35 donne la courbe obtenue pour $N_o = 180$ impulsions par minute avec le remplissage méthylal-argon standard ($a = 0,1$ mm; $b = 0,98$ cm; $e = 0,18$ mm; $L = 2,9$ cm) La longueur de palier est de 850 volts, la pente de 0,7% par 100 volts. Les expériences de M. YASIN, R.AHMED et P.S.GILL (37) sont ainsi expliquées.

Pour ce compteur, $B = 5,04 \cdot 10^{-12}$ et $(V_G^0 - V_D)$ est égal à 100 volts. Les résultats obtenus entre 20°C et 76°C sont résumés dans le tableau VI et la courbe (1) de la figure 36. La courbe vient se raccorder parfaitement à la valeur donnée par le fabricant pour 20° C.

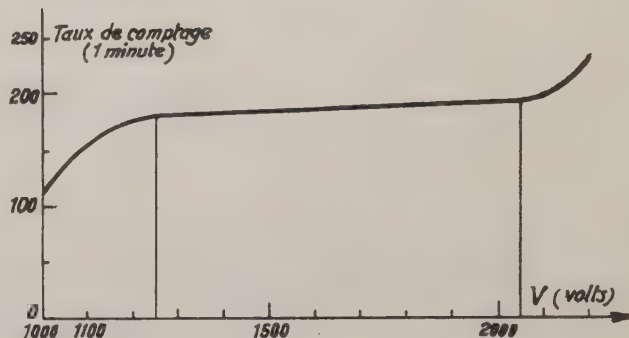
2° - Verre Novo -

Le tableau VII, la courbe (2) de la figure 36 donnent les résultats obtenus à l'aide d'un compteur rempli du mélange standard ($a = 0,1$ mm,

$t^{\circ} C$	30	40,5	50	63	76	20
N_o (1mn)	180	800	3000	10 000	10 000	Fabric.
ΔV_G (volt)	100	82	121	117	50,5	Fabric.
$\rho \omega$ cm	$1,13 \cdot 10^{14}$	$2,1 \cdot 10^{13}$	$8,13 \cdot 10^{12}$	$2,39 \cdot 10^{12}$	$1,03 \cdot 10^{12}$	10^{15}

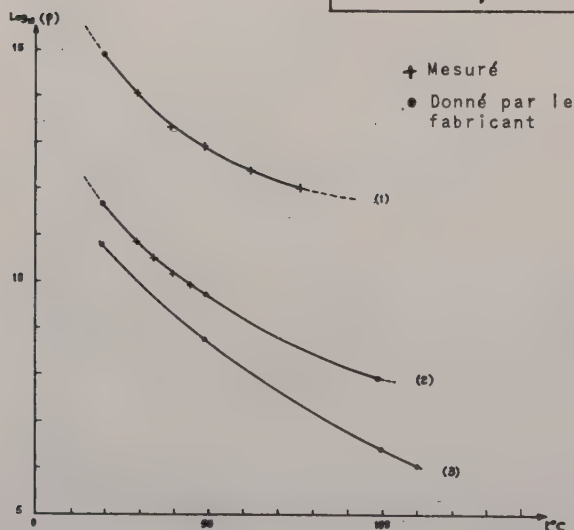
- TABLEAU VI -

- FIGURE 35 - Palier d'un compteur Pyrex à $30^{\circ}C$ pour $N_o = 180$ par minute. Remplissage standard $a = 0,1$ mm, $b = 0,98$ cm, $e = 0,18$ mm, $L = 2,9$ cm



- TABLEAU VII -

$t^{\circ} C$	20	30	35	40	45
N_o (1 mn)	10 000	10 000	10 000	40 000	10 000
ΔV_G (volt)	90	9,4	4,8	11,5	1,3
$\rho \omega$ cm	$5,46 \cdot 10^{11}$	$5,31 \cdot 10^{10}$	$2,72 \cdot 10^{10}$	$1,33 \cdot 10^{10}$	$7,41 \cdot 10^9$



- FIGURE 36 - Variation thermique de la résistivité des verres employés
(1) : Pyrex, (2) : Novo,
(3) : UVK-1

$b = 0,92$ cm, $e = 0,7$ mm, $L = 6,4$ cm), pour lequel $B = 4,89 \cdot 10^{-12}$. La valeur de ρ à 20° C a été contrôlée au mégohmmètre. La variation de V_G avec N_0 devient trop faible au dessus de 45° C pour que des mesures soient possibles.

Les valeurs données par le fabricant sont :

$$\rho = 4,27 \cdot 10^9 \text{ } \Omega \text{ - cm à } 50^\circ \text{ C}$$

$$\rho = 5,90 \cdot 10^7 \text{ } \Omega \text{ - cm à } 100^\circ \text{ C}$$

$$\rho = 2,29 \cdot 10^6 \text{ } \Omega \text{ - cm à } 150^\circ \text{ C}$$

L'accord avec ces valeurs est excellent.

3° - Verre UVK-1 -

Etant donné la résistivité relativement faible à 20° C ($7,05 \cdot 10^{10}$ Ω - cm), l'élévation de température rend ΔV_G trop faible pour que des mesures précises soient réalisables. La courbe (3) de la figure 36 donne la variation de ρ avec la température, d'après les données du fabricant.

MESURE DU TEMPS DE RESTITUTION POUR LE SEUIL DE GEIGER (105)

Le temps de restitution T pour une tension V donnée est le temps minimum nécessaire pour que, après le déclenchement d'une impulsion, l'impulsion qui suit reprenne sa taille normale; il est pratiquement égal au temps mis par les ions positifs formés au voisinage du fil pour atteindre la paroi interne de la cathode. Il ne doit pas être confondu avec le temps mort (durée d'insensibilité du compteur) ni avec le temps de résolution du système (compteur + circuit), qui sont plus courts (106).

Plusieurs procédés, et particulièrement la méthode oscillographique, permettent de mesurer le temps de restitution. Ils sont d'un emploi relativement commode quand la surtension ($V - V_G$) est importante. Par contre, pour le seuil V_G , les impulsions sont de petite taille et les mesures deviennent très difficiles : d'où l'intérêt de la méthode nouvelle décrite ici.

Principe de la méthode -

La variation de V_G en fonction de N_0 prend une allure parabolique au dessus d'une certaine valeur N_R/s (figure 37) : la charge moyenne par impulsion devient alors plus faible, certaines impulsions étant plus petites que la normale. Si l'on admet que les impulsions se succèdent à fréquence régulière, N_R correspond au cas où l'intervalle de temps séparant deux impulsions successives est égal au temps de restitution :

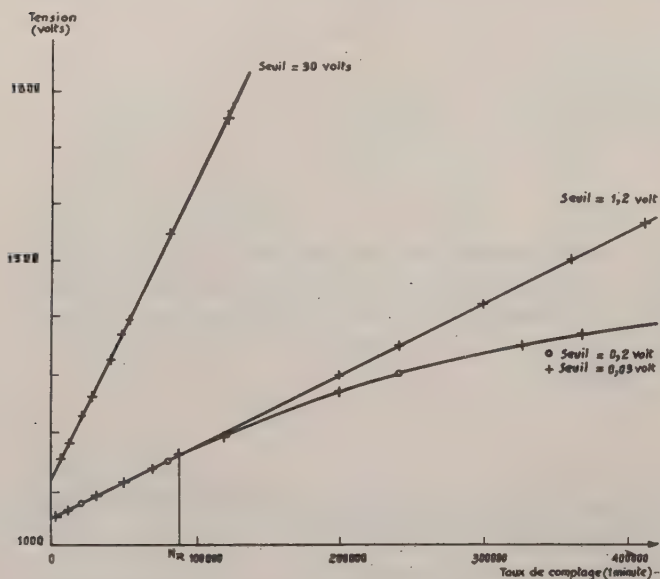
$$\tau = \frac{1}{N_R} \text{ seconde}$$

Choix du seuil du circuit associé -

Pour que ce phénomène soit observable, c'est à dire que N_R soit mesurable, il est nécessaire que toutes les impulsions traversant le compteur soient détectées jusqu'à un taux de comptage nettement supérieur

à N_R . Si le circuit associé possédait un seuil trop élevé seules les impulsions de taille normale ou presque normale seraient détectées et le rapport $\Delta V_G / N_0$ resterait constant au dessus de N_R : le phénomène serait masqué.

Un circuit permettant la mesure directe de V_D (voir plus haut) conviendra. Dans les conditions les plus défavorables, il devra donc posséder un seuil inférieur à 0,07 V.



- FIGURE 37 - Variation de V_G avec N_0 pour diverses valeurs du seuil du circuit associé. Remplissage standard, UVK-1, $a = 0,1$ mm, $b = 2,75$ cm, $e = 1,25$ mm

A titre d'exemple, la figure 37 donne $\Delta V_G = f(N_0)$ pour diverses valeurs du seuil du circuit associé, dans le cas d'un compteur UVK-1 contenant méthylal (1 cm de mercure) + argon (8,5 cm de mercure) - $a = 0,1$ mm, $b = 2,75$ cm, $e = 1,25$ mm et $L = 7,8$ cm.

Cas des compteurs à graphitage externe -

Le tableau VIII donne les résultats obtenus pour des compteurs contenant le remplissage argon-méthylal standard. Pour certains compteurs Novo, V_G dépasse la valeur maximum de la haute tension (2500 volts) avant que N_R soit atteint. Il faut alors effectuer les mesures à température plus élevée.

Cas des compteurs à cathode interne -

Comme il a été vu plus haut, l'introduction d'un système R-C entre le cylindre et la masse produit une variation de V_G avec N_0 identique à celle obtenue pour un compteur à coque de verre. La mesure de N_R donnera τ . Les expériences ont porté sur des compteurs de la "20 th Century Electronics" (103).

Voir le tableau IX.

- TABLEAU VIII -

Verre	Novo	UVK-1	Novo	UVK-1	UVK-1	Novo	UVK-1	Novo
Temp. (°C)	29	20	35	20	20	29	20	20
b (cm)	0,56	0,83	0,92	1,075	1,63	2,10	2,75	2,86
b/a	224	83	92	107,5	163	210	275	286
$\frac{(b^2-a^2) \log_e (b/a)}{V_G^0} \times 1000$	2,067	3,620	4,552	5,777	14,306	20,94	40,80	43,81
V_G^0 (volt)	820	840	840	935	945	1125	1040	1055
N_R par s	7690	4255	3700	3330	2747	2500	1450	1315
τ (sec mes.)	$1,30 \cdot 10^{-4}$	$2,35 \cdot 10^{-4}$	$2,70 \cdot 10^{-4}$	$3,00 \cdot 10^{-4}$	$3,64 \cdot 10^{-4}$	$4,00 \cdot 10^{-4}$	$7,00 \cdot 10^{-4}$	$7,60 \cdot 10^{-4}$
τ (sec. calc.)	$0,35 \cdot 10^{-4}$	$0,62 \cdot 10^{-4}$	$0,78 \cdot 10^{-4}$	$0,99 \cdot 10^{-4}$	$2,46 \cdot 10^{-4}$	$3,60 \cdot 10^{-4}$	$7,00 \cdot 10^{-4}$	$7,52 \cdot 10^{-4}$

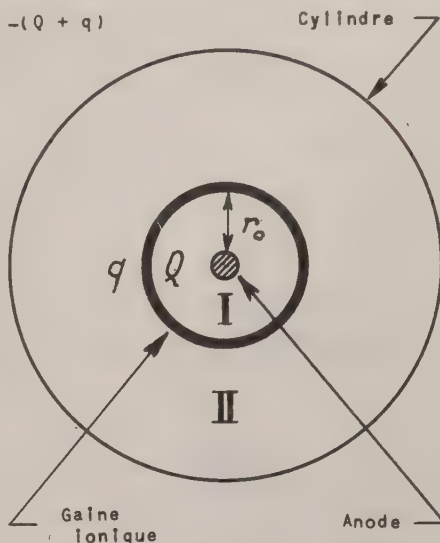
- TABLEAU IX -

Modèle du compteur	M-6	G-10	G-26
Vapeur organique	Ethanol	Formiate d'éthyle	Formiate d'éthyle
Cathode	Graphite	Graphite	Graphite
b (cm)	1,60	2,20	3,15
b/a	126	173	248
V_G^0 (volt)	1040	1020	1010
$\frac{(b^2-a^2) \log_e (b/a)}{V_G^0} \times 1000$	11,89	24,43	54,11
N_R par seconde	3100	2330	1080
τ (s) mesuré	$3,23 \cdot 10^{-4}$	$4,29 \cdot 10^{-4}$	$9,23 \cdot 10^{-4}$
τ (s) calculé	$1,69 \cdot 10^{-4}$	$4,23 \cdot 10^{-4}$	$9,37 \cdot 10^{-4}$

Calcul théorique du temps de restitution -

Pour V_G , la densité ionique de la gaine positive formée tout le long du fil est assez faible pour que l'on puisse négliger toute diffusion latérale (107). La gaine positive est alors assimilable à la surface latérale d'un cylindre, de densité électrique superficielle uniforme ayant pour axe le fil anode et dont le diamètre augmente progressivement jusqu'à b (figure 38). Le temps de transit, pratiquement égal au temps de restitution, est ainsi bien défini.

Les hypothèses de base des théories de H.G. STEVER (108) A. G.M. VAN GEMERT, H. DEN HARTOG et F.A. MULLER (109), (110) (111), (112) sont valables et permettent de calculer τ .



- FIGURE 38 -
Schéma de la gaine ionique positive dans son transfert vers le cylindre

Le calcul qui suit s'inspire du développement donné par H.G. STEVER (108). Quand la gaine ionique positive se trouve à la distance r_0 de l'axe, soient : V la différence de potentiel existant entre le fil et le cylindre, Q la charge électrique par unité de longueur du fil q la charge de la gaine positive par unité de longueur. Soit, d'autre part Q_0 la charge électrostatique portée par l'unité de longueur du fil au repos, c'est-à-dire pour la tension V_G .

Le champ électrique dans la région I est :

$$E_1 = \frac{2Q}{r}$$

et dans la région II :

$$E_2 = \frac{2(Q + q)}{r}$$

Le potentiel V est donné par :

$$-V = \int_{a/2}^{r_0} \frac{2Q}{r} dr + \int_{r_0}^{b/2} \frac{2(Q + q)}{r} dr \quad -V = 2Q \log_e(b/a) + 2q \log_e(b/2r_0) \quad \text{d'où}$$

$$Q = \frac{-1}{2 \log_e(b/a)} \left[V + 2q \log_e\left(\frac{b}{2r_0}\right) \right] \quad (3)$$

Pour le seuil de Geiger, la taille des impulsions est faible, et on ne commet pas une erreur importante en remplaçant dans cette expression V par V_G .

Soit k la mobilité ionique du mélange gazeux, définie comme le rapport de la vitesse dr/dt de la gaine ionique à l'intensité E du champ électrique agissant :

$$k = \frac{dr/dt}{E}$$

Elle s'exprime en cm/s/volt/cm. Pour des pressions comprises entre 0,1 mm de mercure et 80 atmosphères, L.B. LOEB (113) a montré que k est inversement proportionnel à la pression. Soient K la mobilité ionique sous la pression atmosphérique P_0 , et P la pression totale à l'intérieur du compteur : $k = K(P_0/P)$

Le temps mis par la gaine pour parcourir la distance dr est :

$$dt = \frac{dr}{kE}$$

Le champ électrique agissant est :

$$E = \frac{2Q}{r} + \frac{q}{r}$$

Le terme q/r est dû à l'action sur la surface de la gaine, du reste de cette gaine ionique. En tirant Q de l'équation (3), on obtient :

$$E = \frac{2Q_0}{r} + \frac{2q}{r} \left[\frac{1}{2} - \frac{\log_e (b/2r_0)}{\log_e (b/a)} \right]$$

avec :

$$Q_0 = \frac{V_G}{2 \log_e (b/a)}$$

a est très petit et $\log (b/2r_0) / \log (b/a)$ devient rapidement négligeable devant $1/2$. On peut négliger ce terme sans introduire de modification sensible dans le phénomène global. Tout se passe alors comme si la gaine positive se déplaçait dans un champ électrique créé par la charge $(Q_0 + q/2)$ portée par le fil. Le potentiel V est :

$$V = V_0 + q \log_e (b/a)$$

et le champ :

$$E = V/r \log_e (b/a)$$

d'où :

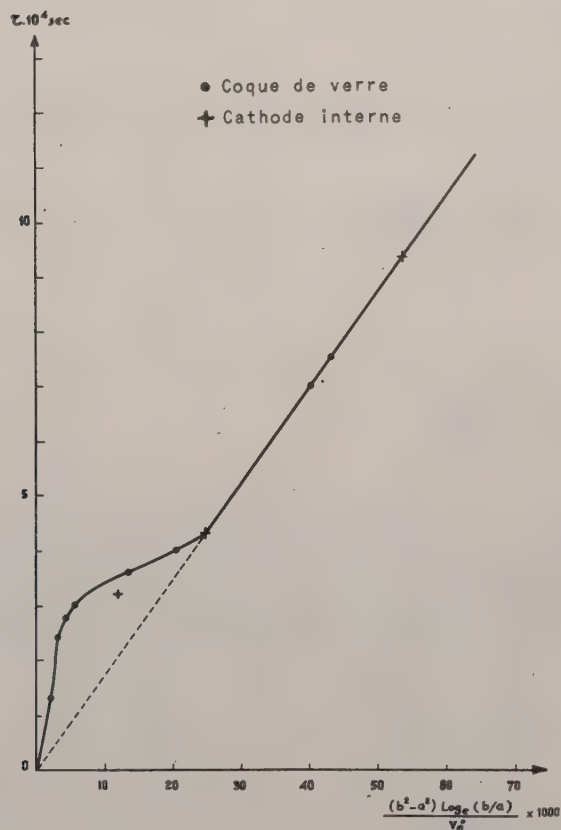
$$dt = \frac{r \log_e (b/a)}{k V} dr \quad (9)$$

τ sera obtenu par intégration de cette expression entre $a/2$ et $b/2$.
D'où :

$$\tau = \frac{(b^2 - a^2) \log_e (b/a)}{8k V_G}$$

$$\tau = \frac{(b^2 - a^2) \log_e (b/a) P}{8k V_G \cdot P_0} \quad (10)$$

k est ici supposé constant quelle que soit la valeur de E . Or, L.B. LOEB (113), A.V. HERSHEY (114), M.J. DRUYVESTEYN et F.M. PENNING (115) ont montré que k varie avec E/P , au dessus d'une certaine valeur critique : il faut donc s'attendre à des écarts entre la valeur mesurée et la valeur calculée de τ .



- FIGURE 39 - τ pour le seuil de Geiger en fonction du paramètre $(b^2 - a^2) \log_e (b/a) / V_G^0$ - Remplissage argon-méthylal standard-

La figure 39 représente la variation de la valeur mesurée de τ en fonction du paramètre :

$$\frac{(b^2 - a^2) \log_e (b/a)}{V_G^0}$$

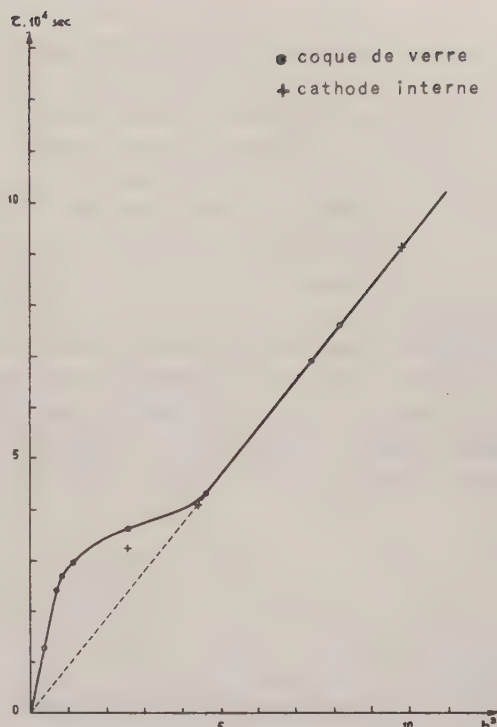
pour les compteurs à coque de verre du tableau VIII (mélange standard) : la concordance entre l'expérience et le calcul n'est bonne que pour des valeurs de ce paramètre supérieures à $26 \cdot 10^{-3}$. Une représentation plus concrète est donnée par la figure 40 où τ (mesuré) est porté en fonction de b^2 il y a bon accord pour $b \geq 2,1$ cm.

Sur les mêmes graphiques sont portés les résultats obtenus avec les compteurs à cathode interne du tableau IX. La concordance est excellente, compte tenu de la légère différence de pression et de la masse moléculaire différente du constituant polyatomique.

Ces résultats s'accordent avec ceux obtenus antérieurement par la méthode oscillographique : H.G. STEVER (108) trouve que, pour

$b = 2,86$ cm, la formule (10) se vérifie de façon satisfaisante, alors que la concordance est moins bonne pour $b = 2,22$ cm. A. G.M. VAN GEMERT, H. DEN HARTOG et F.A. MULLER utilisent des diamètres de 5,8 cm (109) et 3,8 cm (112) pour obtenir une bonne vérification de leurs résultats. Plus récemment, A.D. KRUMBEIN a obtenu des résultats comparables au voisinage du seuil de Geiger (98).

FIGURE 40 - τ pour le seuil de Geiger en fonction de b^2 (remplissage argon-méthylal standard) →



Application à la détermination de mobilités ioniques -

Soient p_A la pression partielle de l'argon, p_V la pression partielle du constituant polyatomique, K_A la mobilité ionique de l'argon pour P_0 , K_V celle de la vapeur polyatomique sous cette même pression (76 cm de mercure) :

$$p_A = P_A / P$$

$$p_V = P_V / P$$

La mobilité K est donnée par la formule additive simple :

$$K = \frac{K_A K_V}{p_A K_V + p_V K_A} \quad (11)$$

Cependant, L.B. LOEB (118) a montré que de nombreux mélanges ne suivent pas cette loi. Il propose la formule :

$$K = \frac{K_A \cdot K_V}{[p_A K_V^2 + p_V K_A^2]^{1/2}} \quad (12)$$

Il convient de noter que H. DEN HARTOG (111), (112), sur des mélanges éthanol-argon, a obtenu pour $1/K$ une variation linéaire en fonction de la pression partielle de l'éthanol. La formule (11) s'applique dans ce cas et il est légitime d'admettre qu'elle est aussi valable dans le cas du méthylal et dans celui du formiate d'éthyle.

1° - Mobilité ionique de l'éthanol -

Les résultats obtenus pour les compteurs du modèle M-6 (tableau IX) ne sont pas utilisables, le diamètre b correspondant à une région où la formule (10) ne s'applique pas (figure 40). J'ai utilisé une série de compteurs à coque de verre de $b = 2,1$ cm, contenant de l'éthanol (0,7 cm de mercure) et de l'argon (17,2 cm de mercure), avec $a = 0,01$ cm, $V_G^0 = 1075$ volts. N_R est égal à 1800 impulsions par seconde, d'où $\tau = 5,8 \cdot 10^{-4}$ seconde et $K = 1,16$ cm/s/volt/cm, d'après (10). L'argon utilisé étant spectroscopiquement pur, $K_A = 1,30$ cm/s/volt/cm (117), (118). D'après (11) :

$$K_V = 0,32 \text{ cm/s/volt/cm} \pm 0,03$$

La formule (12) donnerait $K_V = 0,47$ cm/s/volt/cm.

L'accord avec la valeur 0,34 cm/s/volt/cm obtenue par H. DEN HARTOG (112) est satisfaisant. S.C. CURRAN et J.D. CRAGGS proposent 0,36 cm/s/volt/cm (117). L'accord avec les expériences de H. DEN HARTOG et F.A. MULLER est également excellent (119). Par contre, J.A. SIMPSON (120) a obtenu 0,1 cm/s/volt/cm, valeur nettement plus faible, alors que P.B. WEISE et W.P. KERN trouvent une valeur trop élevée (121). Les expériences de H. KUMAGAI et alii, qui datent de 1943 et ne furent publiées qu'en 1949 (122) sont en bon accord avec la valeur donnée ici, compte tenu du fait que l'argon utilisé par ces auteurs était insuffisamment purifié.

2° - Mobilité ionique du méthylal -

Prenant toujours $K_A = 1,30$ cm/s/volt/cm, $K = 0,91$ cm/s/volt/cm pour le mélange : méthylal (1 cm de mercure) + argon (8,5 cm de mercure). On a d'après (11) :

$$K_V = 0,26 \text{ cm/s/volt/cm} \pm 0,03$$

La formule (12) donnerait $K_V = 0,40$ cm/s/volt/cm.

Les valeurs de τ données dans le tableau VIII ont été calculées avec $K_V = 0,26$ cm/s/volt/cm.

3° - Mobilité ionique du formiate d'éthyle -

En prenant la moyenne des résultats obtenus pour les compteurs G-10 et G-26 (tableau IX), il vient $K = 0,95$. D'après (11) :

$$K_V = 0,28 \text{ cm/s/volt/cm} \pm 0,03$$

La formule (12) donnerait $K_V = 0,42 \text{ cm/s/volt/cm}$.

Si les mesures sont faites avec soin, la précision sur N_R peut atteindre 5%. Il en résulte sur K une précision de 7% et on peut admettre sur K_V une erreur de 10%. Aux erreurs expérimentales près, les mobilités ioniques du méthylal et du formiate d'éthyle sont identiques, ce qui est normal, leurs masses moléculaires étant respectivement de 76 et 74 grammes.

4° - Mobilité ionique K_H de l'hydrogène -

Pour un compteur Novo ($b = 2,1 \text{ cm}$, $b/a = 210$, $L = 8,9 \text{ cm}$, $V_G^0 = 1570 \text{ volts}$) rempli de méthylal (1 cm de mercure) et d'hydrogène (23,4 cm de mercure), $N_R = 4900$ par seconde, d'où $\tau = 2,04 \cdot 10^{-4}$ seconde, et $K = 2,95 \text{ cm/s/volt/cm}$. En prenant la formule (11) et $K_V = 0,28 \text{ cm/s/volt/cm}$:

$$K_H = 5,3 \text{ cm/s/volt/cm} \pm 0,9$$

Cette valeur est en accord avec les résultats obtenus antérieurement (117), (118).

CONCLUSION

La méthode qui vient d'être décrite repose sur l'hypothèse d'une succession régulière des impulsions dans le compteur; la répartition, en réalité, est statistique, mais la bonne concordance avec les mesures oscillographiques prouve que cette hypothèse est légitime, aux erreurs expérimentales près, et que l'on obtient bien le temps de restitution intrinsèque du compteur.

On trouve encore répandue l'opinion selon laquelle le temps mort d'un compteur à coque de verre serait conditionné par la constante de temps du circuit équivalent à la paroi, donc très long (123) : les expériences qui précèdent montrent qu'il n'en est rien.

En résumé, malgré des mesures assez longues, cette méthode permet, sans montage spécial, et à l'aide d'un circuit de comptage

classique, de mesurer, au seuil de Geiger, le temps de restitution avec une précision de l'ordre de 5%, dans des conditions où les méthodes antérieures sont très difficiles à appliquer.



TROISIEME PARTIE

REPLISSAGES ARGON + VAPEUR ORGANIQUE :

*MECANISMES DE FONCTIONNEMENT AU DESSUS DU SEUIL
DE GEIGER*

Chapitre 1

ETUDE THEORIQUE

ACCORD DES RESULTATS QUI PRECEDENT AVEC LE FONCTIONNEMENT DU COMPTEUR AU DESSUS DU SEUIL DE GEIGER

1 - Considérations théoriques -

Jusqu'ici, dans les calculs, ont été introduites 2 tensions caractéristiques du fonctionnement du compteur :

- V_D , seuil de démarrage pour un circuit associé convenable, tension pour laquelle la charge $\bar{q}$ par impulsion augmente très rapidement en fonction de V . Cette tension correspond au début d'une propagation sensible de la décharge le long du fil.

- V_G , seuil de Geiger, tension pour laquelle la propagation le long du fil est totale, la taille de chaque impulsion ne dépendant plus du nombre d'ions primaires.

La parabole $\bar{q} = f(V)$ doit se raccorder sans discontinuité à la courbe donnant q dans la zone de résolution. Pour V_G , les tangentes doivent être communes. Or :

$$\bar{q} = B L \sqrt{V - V_D}$$

$$\frac{d\bar{q}}{dV} = \frac{B L}{2 \sqrt{V - V_D}}$$

2 - Résultats expérimentaux -

a) Mélange standard. On trouvera dans les tableaux III et IV les valeurs de Φ ainsi calculées. La concordance entre les compteurs à coque de verre et ceux à cathode interne est excellente. Pour des remplissages voisins, les valeurs de Φ obtenues par divers auteurs varient entre 0,4 et 2 (103), (126). Les valeurs trouvées ici sont un peu trop faibles : ce fait provient de ce que V_s et V_G , en réalité, ne coïncident pas.

b) Variation avec P_A . Voir les valeurs de Φ dans le tableau V.

Pour préciser la valeur exacte de Φ , il est donc essentiel de pouvoir déterminer exactement V_s , défini jusqu'ici, dans la littérature, d'une façon arbitraire.

DETERMINATION PRECISE DE V_s

L'analyse des recherches ayant introduit V_s permet de donner une définition précise de cette tension :

1 - Les premiers travaux dans ce domaine sont ceux de W.E. RAMSEY et E.L. HUDSPETH (127) : ils utilisèrent des compteurs à cathode multiple, déjà employés pour l'étude des remplissages non autocoupeurs (128), et ils mesurèrent la tension de crête des impulsions sur l'écran d'un oscillographe cathodique. La charge minimum ainsi détectée était de $4,2 \cdot 10^{-10}$ coulomb par cm de longueur de l'anode, ce qui correspond à une tension de fonctionnement nettement supérieure à V_G . L'extrapolation de la droite $q = f(V)$ obtenue avec l'axe des V donne V_s .

2 - H.G. STEVER (103) mesure q en reliant le compteur aux bornes d'un condensateur chargé à la tension de fonctionnement. Cet auteur utilise $V - V_G \geq 50$ volts, c'est à dire se place très au dessus de la zone étudiée ici.

3 - S.A. KORFF et R.D. PRESENT (9) supposent que V_s et V_G coïncident, et négligent totalement la zone de transition. Pour eux, $V_s = V_G$ est la tension pour laquelle le rayon critique d'ionisation coïncide avec le rayon de l'anode. A noter que la même hypothèse a été formulée pour calculer le temps de restitution, au chapitre précédent.

4 - J.D. GRAGGS et A.A. JAFFE (34) font une étude à l'oscillographe cathodique pour $V - V_G \geq 20$ volts, et, dans la plupart des mesures, pour $V - V_G = 40$ volts. V_s est déterminé par extrapolation de la courbe $q = f(V)$

5 - A.G. FENTON et E.W. FULLER (74) mesurent le courant qui traverse le compteur à l'aide d'un électromètre lié à l'anode, et limitent leur étude à une sensibilité de $1,5 \cdot 10^{-10}$ coulomb. V_s est obtenue par extrapolation.

6 - R. FAVRE et C. HAENNY (31) mesurent le courant de décharge I du compteur en plaçant un galvanomètre entre la cathode externe et la masse, les modulations de courant étant filtrées. L'extrapolation de la droite $I = f(V)$ donne V_S .

En résumé, cette analyse montre que V_S peut être définie comme la tension pour laquelle l'extrapolation de la courbe expérimentale donnant le courant qui traverse le compteur en fonction de V coupe l'axe des V .

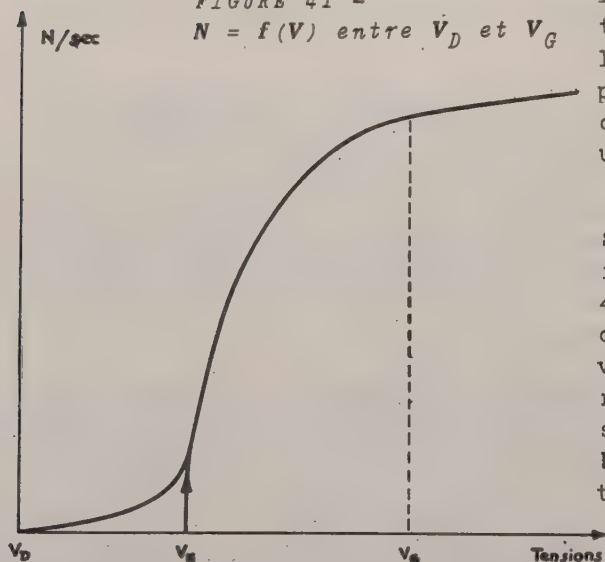
Entre V_D et V_G , si N est le taux de comptage :

$$I = \bar{q} N$$

Cette formule néglige la contribution des impulsions de petite taille, non enregistrées par le circuit. Or, entre V_D et V_G , $N = f(V)$ a

FIGURE 41 -

$N = f(V)$ entre V_D et V_G



l'aspect donné par la figure 41. Partant de zéro, tangentielllement à l'axe des V , la courbe devient rapidement croissante, et, au dessus d'une tension V_N est assimilable à une parabole ayant pour sommet V_N .

Dans sa théorie, D.H. WILKINSON (124) ne considère que la région fortement croissante de N (figure 42), sans préciser le seuil du circuit associé qui, s'il possède une valeur élevée, masque totalement la région ($V_D - V_N$). D.H. WILKINSON assimile ainsi la base de la courbe V_N à V_S . Cette définition est arbitraire, puisque V_S varierait avec

le seuil du circuit. En réalité, comme je le montrerai plus loin, V_S est inférieure à V_N .

Calcul théorique -

Au dessus de V_N :

$$\left\{ \begin{array}{l} N = \frac{N_0}{\sqrt{V_G - V_N}} \cdot \sqrt{V - V_N} \\ q = B L \sqrt{V - V_D} \end{array} \right.$$

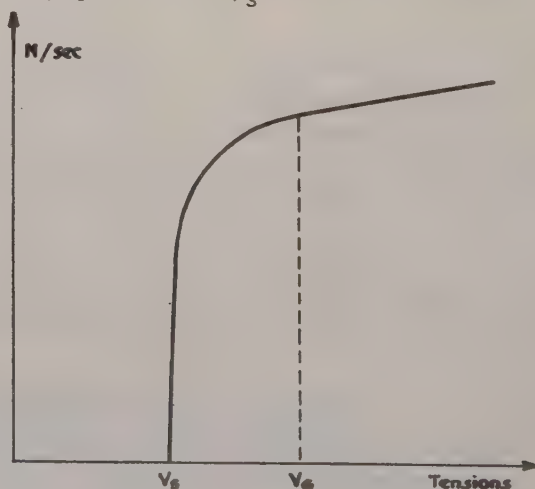


FIGURE 42 - $N = f(V)$ d'après la théorie de WILKINSON (124)

$$I = \frac{B N_o L}{\sqrt{V_G - V_N}} \sqrt{(V - V_D)(V - V_N)}$$

Posant $I = 1$ pour $V = V_G$:

$$I = \left\{ \frac{(V - V_D)(V - V_N)}{(V_G - V_D)(V_G - V_N)} \right\}^{1/2} \quad (17)$$

A titre d'exemple je prendrai $V_G - V_N = 40$ volts, $V_G - V_D = 70$ volts (voir plus loin). La figure 43 donne les valeurs de I calculées d'après (17). Dans sa plus grande partie, cette courbe est assimilable à une droite, ce qui vient confirmer les expériences de R. FAVRE et C. HAENNY (31), A.G. FENTON et E.W. FULLER (74), D. BLANC et H. ZYNGIER (125). La courbe s'écarte d'une droite pour des valeurs de I trop faibles pour être détectables par les dispositifs utilisés par ces auteurs. V_S est définie par l'intersection de cette droite avec OV et, dans l'exemple choisi :

$$V_S - V_D = 20 \text{ volts}$$

L'écart avec la valeur donnée par la théorie de D.H. WILKINSON est de 10 volts. Sur la figure 43 est tracée la courbe $I = f(V)$ expérimentale entre V_D et V_N .

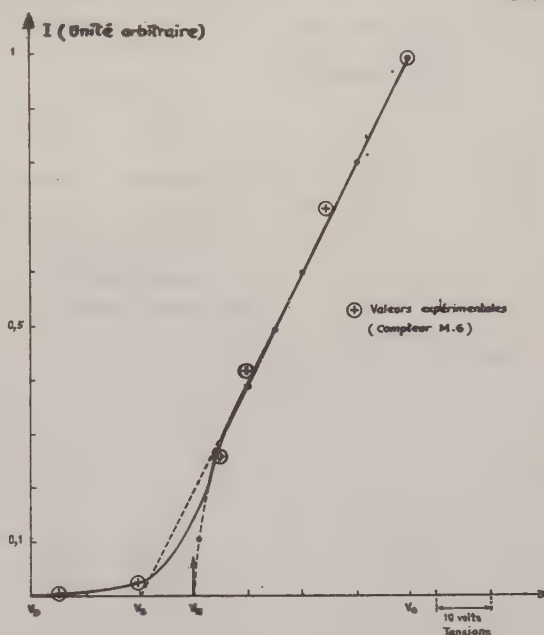


FIGURE 43 : Intensité $I = f(V)$ calculée d'après (17) - $V_G - V_N = 40V$, $V_G - V_D = 70V$

VERIFICATION EXPERIMENTALE

Les considérations qui précèdent sont vérifiées pour tous les compteurs étudiés, et je donnerai ici deux exemples caractéristiques :

1 - Compteur à cathode interne (modèle M-8)

$V_D = 970$ volts, $V_N = 1000$ volts, $V_G = 1040$ volts, $B = 5,27 \cdot 10^{-12}$, d'où

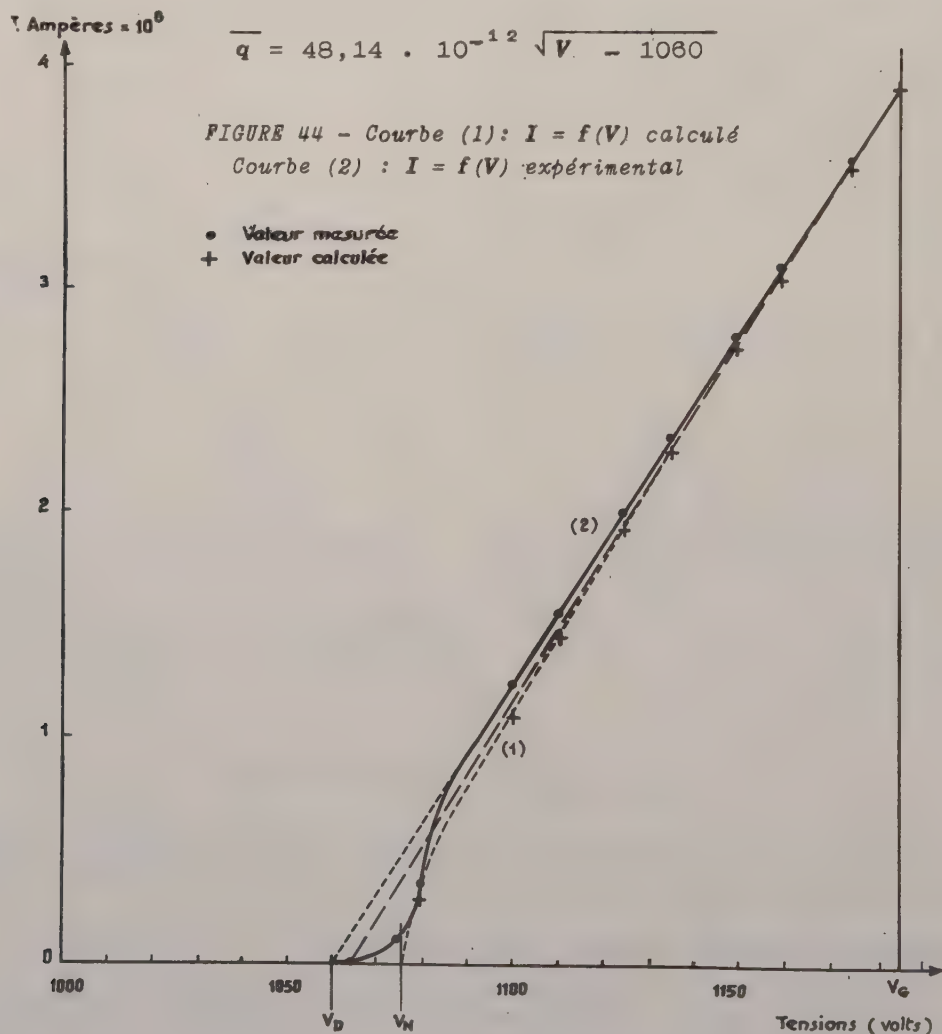
$$\bar{q} = 31,62 \cdot 10^{-12} \sqrt{V - 970} \text{ coulomb}$$

Les valeurs de $(V_G - V_N)$ et $(V_G - V_D)$ sont celles du calcul qui précède (voir le tableau X). Les points expérimentaux sont portés sur la figure 43 : l'accord avec les valeurs calculées d'après (17) est excellent (précision de 5 volts sur la mesure des tensions). On peut prendre :

$$V_S = 990 \text{ volts}$$

2 - Compteur à graphitage externe -

L'expérience décrite porte sur un compteur UVK-1. de $L = 7,8 \text{ cm}$, $b/a = 275$, avec remplissage argon-méthylal standard. $V_D = 1060 \text{ volts}$, $V_N = 1075 \text{ volts}$, et $V_G = 1185 \text{ volts}$.



Les résultats sont portés dans le tableau XI et la figure 44. D'après la formule (17), $V_s = 1065$ volts. L'intensité mesurée donne $V_s = 1060$ volts; l'accord est bon. Pour ce compteur, V_D et V_s coïncident sensiblement.

En résumé, V_s peut, dans tous les cas, être calculée d'après la courbe $I = f(V)$, déduite de la mesure du taux de comptage entre V_D et V_G .

TABLEAU X

TENSION (volt)	$q \cdot 10^{-12}$ coulombs	N par seconde	$I = \bar{q} N \cdot 10^{12} A$	I calculé par (17) $\cdot 10^{12}$
975	0,05	71	3,5	0
990	0,6	141	83	0
1005	5,9	187	1103	1110
1010	9,4	200	1880	1700
1025	13,8	234	3230	3135
1040	16,9	265	4478	4478

TABLEAU XI

1065	108	0,14	15,1	0
1075	186	3,9	736	0
1080	215	16,7	3604	3260
1100	304	42	12790	10320
1110	340	46	15670	13640
1125	388	52	20220	18570
1135	417	58	24188	21857
1150	457	62,6	28590	26750
1160	481	65,3	31430	30190
1175	516	68,2	35200	34930
1185	538	71	38210	38210

THEORIE APPROCHEE DU MECANISME AU DESSUS DE V_G

Les calculs qui suivent sont valables pour N_0 suffisamment grand. Je préciserai plus loin au dessus de quel taux de comptage cette théorie s'applique.

Calcul du potentiel interne v

Pour $q \leq Q_0$, la théorie de WILKINSON donne, d'après (14) :

$$q = W \cdot \frac{V'}{V_s} (V' - V_s) \quad (18)$$

V' étant la différence de potentiel entre le fil et la surface interne du cylindre. W est une constante pour un compteur, un remplissage et une température donnés. W est lié à Φ par :

$$W = \frac{10^{-14}}{1,8 \log_e (b/a)} L \cdot V_s \cdot \Phi \quad (19)$$

v étant le potentiel interne de la surface du verre :

$$V' = V - v$$

v étant donné par l'équation (1). Si $\theta_1 = R_1 C_1$ est de longue durée devant une impulsion et devant l'intervalle de temps séparant deux impulsions successives :

$$v = N q R_1$$

$$v = W N R_1 \frac{V'}{V_s} (V' - V_s)$$

D'où l'on tire :

$$v = V - V_s \frac{WNR - 1}{2WNR} \pm V_s \frac{WNR + 1}{2WNR} \sqrt{1 + \frac{4WNR}{(WNR + 1)^2} \frac{V - V_s}{V_s}}$$

La solution (+) correspond à $v > V - V_g$, ce qui n'a pas de sens physique. Le développement de la solution (-) donne:

$$v = (V - V_s) \frac{WNR}{WNR + 1} \left[1 + \frac{1}{(WNR + 1)^2} \frac{V - V_s}{V_s} - \frac{2WNR}{(WNR + 1)^4} \left(\frac{V - V_s}{V_s} \right)^2 + \dots \right]$$

1 - Le terme en $(V - V_s / V_s)^2$ est, dans tous les cas, négligeable devant l'unité et, à plus forte raison, les termes suivants. Un exemple précis le montre: $W = 10^{-11}$ (voir plus loin) pour $L = 15$ cm, $b = 2$ cm, $a = 0,1$ mm et le remplissage standard. Pour $e = 1$ mm et le verre Novo, à 20° C,

$R_1 = 2 \cdot 10^8$ ohms. Soit $N = 500$ par seconde. Pour $V_s = 1000$ volts et $V - V_s = 200$ volts :

$$\left(\frac{V - V_s}{V_s} \right)^2 \cdot \frac{2WNR}{(WNR + 1)^4} = 0,005$$

D'autre part, W est proportionnel à L , R_1 inversement proportionnel à L , et l'ordre de grandeur subsiste quelle que soit la géométrie du compteur.

Donc, à 1% près, quel que soit $(V - V_s)$:

$$v = (V - V_s) \frac{WNR}{WNR + 1} \left[1 + \frac{1}{(WNR + 1)^2} \cdot \frac{V - V_s}{V_s} \right] \quad (20)$$

2 - Le terme en $(V - V_s)/V_s$ devient à son tour négligeable si la surtension est assez faible (dans l'exemple choisi, pour :

$$V - V_s = 50 \text{ volts, } \frac{1}{(WNR + 1)^2} \frac{V - V_s}{V_s} = 0,05)$$

ce qui donne la formule approchée :

$$v = \frac{WNR}{WNR + 1} [V - V_s] \quad (21)$$

c'est la formule proposée par R. MAZE (6).

Calcul de la charge q par impulsion -

Pour $V < V_G$, la formule (3) s'applique.

Pour $V > V_G$, q est donnée par l'équation (18), avec $v = NqR_1$.

D'après (20) :

$$q = \frac{W}{1 + WNR} (V - V_s) \left[1 + \frac{1}{(WNR + 1)^2} \cdot \frac{V - V_s}{V_s} \right] \quad (22)$$

Comme précédemment, $\frac{1}{(WNR+1)^2} \frac{V-V_s}{V_s}$ devient négligeable pour une surtension faible, d'où la formule :

$$q_{\infty} = \frac{W}{1 + WNR} [V - V_s]$$

Or $N = N_0 + p (V - V_G)$ avec $p = \Delta N / \Delta V$. Pour un taux de comptage élevé, p est très faible (voir plus loin) et $p(V - V_G)/N_0$ est alors négligeable devant l'unité :

$$q = \frac{W}{1 + WN_0 R} [V - V_s] \quad (23)$$

la précision de cette formule approchée étant supérieure à 10%.

Calcul de la constante W -

Pour N , au seuil de Geiger :

$$v = B N_0 R_1 L \sqrt{V_G^0 - V_s}$$

Mais, d'après (21) :

$$v = \frac{WN_0 R}{WN_0 R + 1} (V_G^{N_0} - V_s)$$

D'où :

$$\frac{WN_0 R}{WN_0 R + 1} [V_G^0 + BN_0 RL \sqrt{V_G^0 - V_D} - V_s] = BN_0 RL \sqrt{V_G^0 - V_D}$$

$$W = B L \cdot \frac{\sqrt{V_G^0 - V_D}}{V_G^0 - V_s} \quad (24)$$

Calcul de la pente externe P_e

Selon la normalisation de l'I.R.E. (103), la pente est l'augmentation relative du taux de comptage pour une augmentation de 100 volts

de la tension à partir d'une tension donnée :

$$P_e = \frac{\Delta N}{N} \frac{100}{\Delta V}$$

La pente interne P_i du compteur est indépendante de N : elle est égale à la pente externe mesurée sous une irradiation assez faible pour que v soit négligeable :

$$P_i = \frac{\Delta N}{N} \frac{100}{\Delta V'}$$

Or : $\Delta V = \Delta V' + \Delta v$. Et, d'après (21) :

$$\Delta V = \Delta V' (1 + WNR_1)$$

Il en résulte :

$$P_e = \frac{P_i}{1 + WNR_1} \quad (25)$$

CALCUL THEORIQUE COMPLET

Une partie des calculs qui suivent s'inspire des études de M. CELMA, J.A. GARCIA-FITE, R. SEGOVIA-TORRES (94), et de A. ARON (95), dont j'ai voulu effectuer une synthèse.

1 - Variation des potentiels à l'intérieur du compteur lors d'une impulsion isolée -

La figure 45 résume le schéma électrique complet d'un compteur à coque de verre. C_2 est la capacité anodique parasite, C la capacité propre du fil anode, V_0 le potentiel initial du fil avant l'impulsion, Q_0 la charge portée alors par le fil, Q la charge, v , V , V' les potentiels caractéristiques à l'instant t . Le temps origine est celui du déclenchement de l'impulsion.

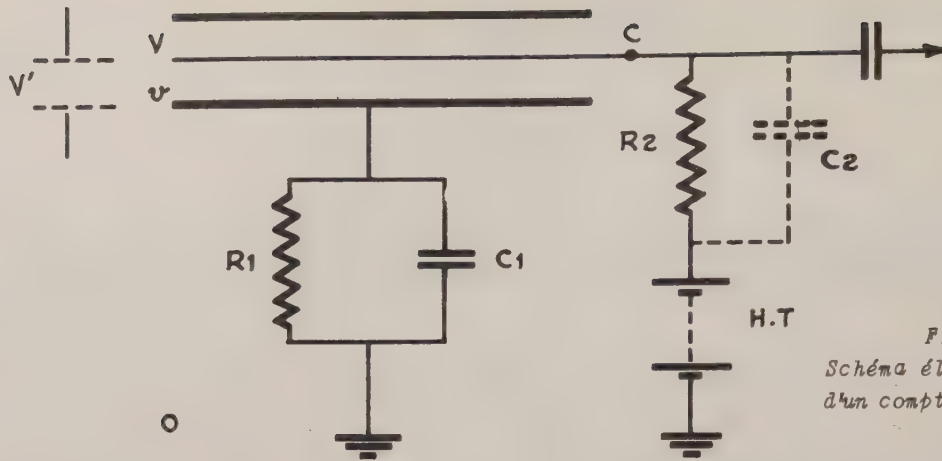


FIGURE 45
Schéma électrique complet
d'un compteur à graphitage
externe

A l'instant t :

$$\left\{ \begin{array}{l} V = V' + v \\ v + \theta_1 \frac{dv}{dt} = R_1 I \\ V - V_0 + R_2 C_2 \frac{dV}{dt} = -R_2 I \\ I = \frac{dQ}{dt} \end{array} \right.$$

Le temps de collection des électrons sur le fil est très court (environ 10^{-8} seconde) et la gaine ionique positive formée peut être supposée immobile durant ce temps, et assimilable à un cylindre sans épaisseur, de rayon initial r_0 . Ceci suppose que la vitesse de propagation de la décharge le long du fil est très grande : pour un compteur de dimensions et de remplissages courants, les valeurs expérimentales de cette vitesse varient entre 1 cm/microseconde (129) et 5 cm/microseconde (130), pour le seuil de Geiger : le schéma adopté est légitime. Si, à l'instant t , la gaine ionique se trouve à la distance r de l'axe, d'après l'équation (8) :

$$Q = C V' - 2q_s C \cdot \log_e (b/2r)$$

q_s étant la charge électrique par cm de longueur de la gaine ionique.

$$v + (\theta_1 + R_1 C) \frac{dv}{dt} - R_1 C \frac{dV}{dt} + 2R_1 C q_s \cdot \frac{d}{dt} [\log (b/2r)] = 0$$

$$V + (R_2 C_2 + R_2 C) \frac{dV}{dt} - R_2 C \frac{dv}{dt} - V_0 - 2R_2 C q_s \frac{d}{dt} [\log (b/2r)] = 0$$

En première approximation, tout se passe comme s'il existait sur le fil la charge $(Q_0 + q_s/2)$ (voir page 73), avec :

$$Q_0 = \frac{V_0}{2 \log_e (b/a)}$$

Le champ électrique agissant est alors :

$$E = \frac{2Q_0}{r} + \frac{q_s}{r}$$

$$\frac{r dr}{dt} = k [2Q_0 + q_s]$$

D'où :

$$\frac{d}{dt} [\log_e (b/2r)] = -\frac{1}{2} \left\{ 1 / \frac{r_0^2}{4k [Q_0 + q_s/2]} + t \right\}$$

Je poserai :

$$\frac{r_0^2}{4k [Q_0 + q_s/2]} = \alpha$$

Les équations prennent la forme :

$$\left\{ \begin{array}{l} v + (\theta_1 + R_1 C) \frac{dv}{dt} - R_1 C \frac{dV}{dt} - \frac{R_1 C}{\alpha+t} \cdot q_s = 0 \\ v + (R_2 C_2 + R_2 C) \frac{dV}{dt} - R_2 C \frac{dv}{dt} - V_0 + \frac{R_2 C}{\alpha+t} \cdot q_s = 0 \end{array} \right.$$

Soit : $\theta_2 = R_2 (C + C_2)$. La capacité C du compteur est, dans tous les cas, très petite devant C_1 :

$$\left\{ \begin{array}{l} v + \theta_1 \frac{dv}{dt} - R_1 C \cdot \frac{dV}{dt} - \frac{R_1 C}{\alpha+t} \cdot q_s = 0 \\ v + \theta_2 \frac{dV}{dt} - R_2 C \cdot \frac{dv}{dt} - V_0 + \frac{R_2 C}{\alpha+t} q_s = 0 \end{array} \right. \quad (26)$$

v et V peuvent être tirés de ces équations : il en résulte des expressions complexes et difficiles à vérifier expérimentalement. Les

résultats pratiques essentiels déduits de (26) sont les suivants :

a - La variation de V , c'est à dire la forme de l'impulsion sur le fil, est indépendante de l'existence de la paroi de verre si :

$$\begin{aligned} R_1 C_1 &\gg R_2 C_2, \\ C_1 &\gg C \end{aligned}$$

Autrement dit, le temps mort et le temps de restitution sont égaux à ceux d'un compteur à cathode interne de même géométrie et de même remplissage (voir page 70).

b - La variation de v est de forme exponentielle. θ_2 étant très petit devant θ_1 (pour le novo, $\theta_1 \approx 0,3$ seconde, alors que pour un compteur de géométrie courante, θ_2 est de l'ordre de 10^{-8} à 10^{-5} seconde) pour $t \gg \theta_2$, v peut se mettre sous la forme approchée :

$$v(t) = A e^{-t/\theta_1}$$

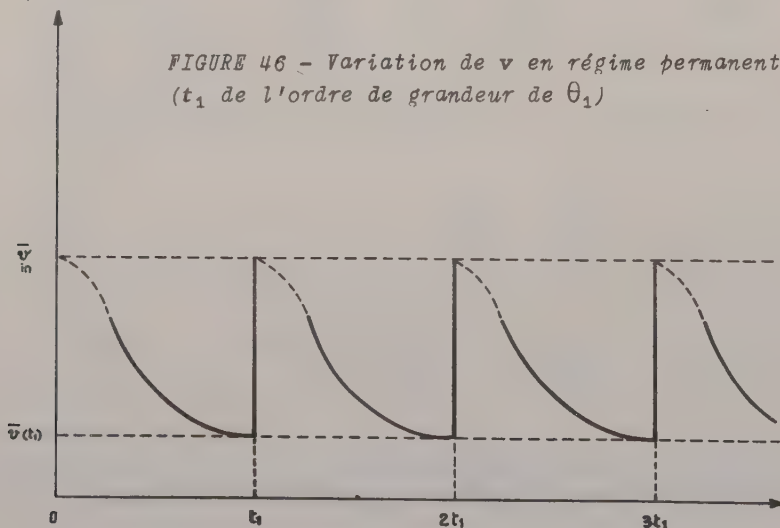
A étant un paramètre fonction de q_s, r_o , et des capacités. La valeur initiale v_0 de v après collection des électrons sur le fil et avant déplacement appréciable de la gaine positive, s'obtient par application du principe de conservation des charges :

$$v_0 = 2q_s \frac{C}{C_2 + C} \frac{C_2}{C_1} \log_e \left(\frac{2r_o}{a} \right)$$

2 - Fonctionnement en régime permanent -

Soit N le taux de comptage. En première approximation, les impulsions se succèdent à des intervalles de temps t_1 constants ($t_1 = 1/N$).

FIGURE 46 - Variation de v en régime permanent (t_1 de l'ordre de grandeur de θ_1)



Si t_1 est suffisamment grand et, par exemple de l'ordre de grandeur de θ_1 , d'après ce qui précède, la variation de v avec le temps a la forme donnée par la figure 46, A correspondant à la tension de fonctionnement :

$$(v_0 - \bar{v}(t_1)) \cdot$$

Quand la fréquence des impulsions augmente, l'intervalle entre les deux tensions limites

représentées sur la figure 46 diminue et, pour une valeur de N suffisante la paroi est portée à la tension pratiquement constante :

$$v = N \cdot q \cdot R_1$$

A. ARON (95) part de l'équation (1), approchée et suppose que les impulsions sont rectangulaires et de durée constante a , l'intensité étant constante et sa variation avec la tension négligée.

Ce calcul, qui ne tient pas compte des effets résultant de la charge spaciiale étudiés plus haut, donne une équation incorrecte pour le régime transitoire entre deux impulsions successives, fait d'ailleurs d'importance secondaire.

Par contre, les valeurs maximum et minimum de v ainsi calculé sont correctes. v est de la forme :

$$v = v_m + v(t)$$

v_m étant sa valeur minimum :

$$v_m = \frac{q}{C_1 [e^{t_1/\theta_1} - 1]} \quad (27)$$

La valeur maximum est :

$$v_M = v_m \left[1 - \frac{a}{\theta_1} + \frac{q}{C_1} \right]$$

Si $t_1 \ll \theta_1$ c'est à dire si N est assez grand :

$$v_m = \frac{q}{C_1 t_1} \quad \theta_1 = N \cdot q \cdot R_1$$

Mais si $t_1 \gg \theta_1$

$$v_m = \frac{q}{C_1} e^{-t_1/\theta_1}$$

3 - Limite de validité de la théorie approchée -

Une grandeur caractéristique de la répartition des tensions est (v/q) . L'écart absolu entre la théorie approchée et la théorie de A. ARON peut être caractérisé par :

$$\Delta(v/q) = N R_1 - 1/C_1 (e^{1/N\theta_1} - 1)$$

Et l'écart relatif par :

$$\Delta(v/q)/(v/q) = 1 - 1/NR_1C_1 (e^{1/N\theta_1} - 1)$$

$$\frac{\Delta(v/q)}{v/q} = 1 - \frac{1}{N\theta_1 [e^{1/N\theta_1} - 1]} \quad (28)$$

La figure 47 résume les écarts ainsi calculés, dans le cas du Novo et de l'UVK-1, en fonction de N , à 20°C. Pour le pyrex, l'erreur relative devient négligeable ($\leq 0,02$) dès $N \geq 1$ par seconde.

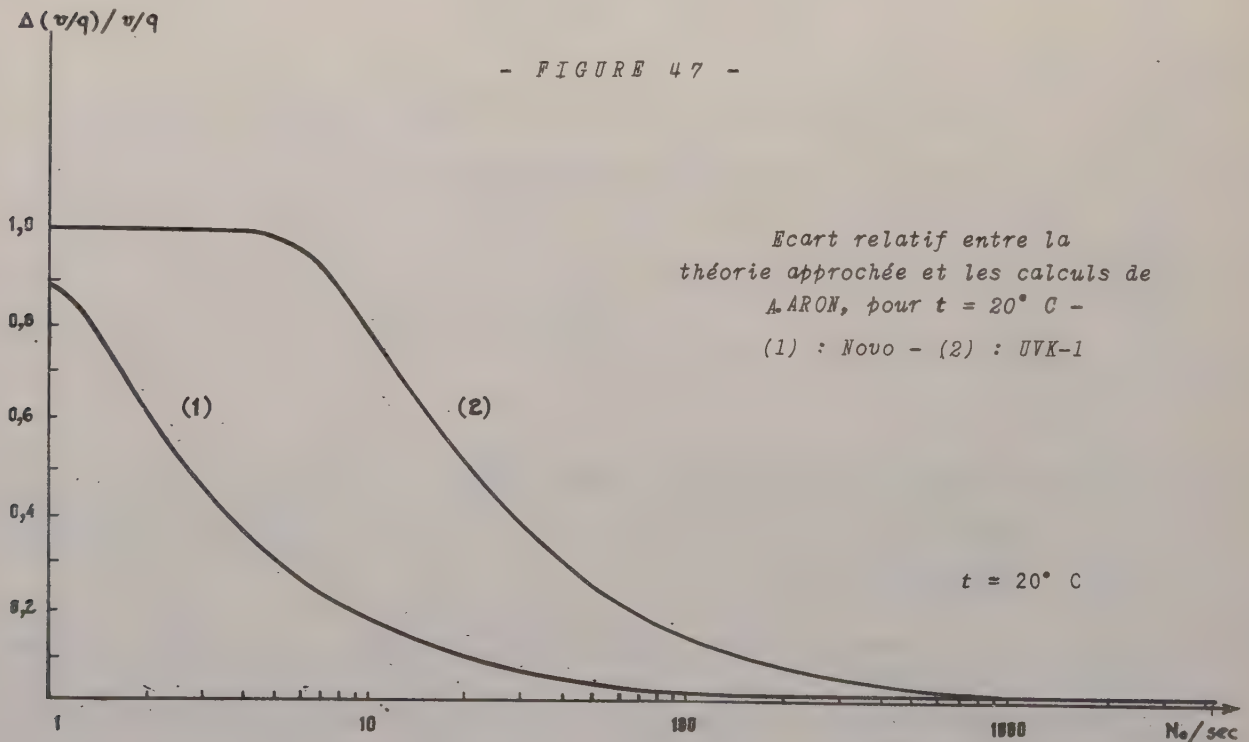
Comme le montre la formule (28), la géométrie et le remplissage n'ont pas d'influence.

L'écart relatif $\Delta(v/q)/(v/q)$ est inférieur à 10% pour :

$N_0 \geq 17,5$ par seconde, pour le verre Novo

$N_0 \geq 125$ par seconde pour le verre UVK-1.

Ces valeurs de N_0 peuvent être adoptées comme limites inférieures d'application de la théorie approchée (à la température du laboratoire) : cette théorie est valable dans la plupart des cas. De plus, pour les taux de comptage où elle ne s'applique plus, les valeurs de v sont très faibles et n'ont que très peu d'influence sur le comportement du compteur.



Chapitre 2

VERIFICATIONS EXPERIMENTALES

Cette étude porte sur des taux de comptage pour lesquels la théorie approchée s'applique

MESURE DE LA QUANTITE CARACTERISTIQUE W

Je rappelle que W est donnée par la formule $q = W \frac{V'}{V_s} \cdot V' - V_s$. W s'exprime donc en coulomb par volt.

Deux méthodes permettent de calculer W :

1 - Mesurer V_D , V_G , V_s et appliquer la formule (24) connaissant L et la constante B .

2 - Mesurer la variation de P_e avec N_o et utiliser la formule (25). On trouve une variation du type représenté dans la figure (25) (compteurs de petits diamètres, voir page 43), et P_i s'obtient par extrapolation de la courbe jusqu'à l'axe des ordonnées.

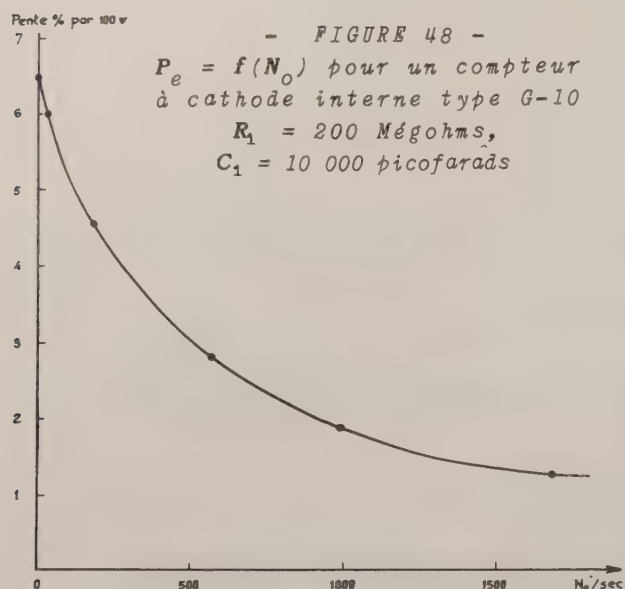
Pour tous les remplissages étudiés, ces deux méthodes concordent parfaitement. Je me contenterai de donner deux exemples typiques.

A - Compteur à cathode interne -

Le circuit intercalé entre le cylindre et la masse comporte $R_1 = 200$ mégohms et $C_1 = 10000$ picofarads. Le compteur est du modèle G-10 (103), $V_D = 975$ volts, $V_G = 1040$ volts, $V_s = 995$ volts (valeur mesurée par construction de $I = f(V)$). $B = 5,70 \cdot 10^{-12}$ et $L = 10,5$ cm.

a - La valeur de W déduite de (24) est : $W = 10,7 \cdot 10^{-12}$, celle de Φ d'après (19) de 0,95 : elle se place bien dans l'intervalle 0,4-2 (108),

(126). La formule (16) donnait $\Phi = 0,35$, nettement trop faible.



b - La figure 48 donne la variation de P_e en fonction de N_o . Par extrapolation, $P_i = 6,4$ % par 100 volts. Les valeurs de W calculées d'après (25) sont portées dans le tableau XII. La concordance avec la valeur obtenue par l'autre méthode est excellente.

N_o par seconde	P_e % par 100 V	W d'après (25) coulomb/volt
34	6,0	$9,80 \cdot 10^{-12}$
173	4,6	$11,3 \cdot 10^{-12}$
560	2,8	$10,2 \cdot 10^{-12}$
980	1,9	$11,0 \cdot 10^{-12}$
1680	1,3	$10,7 \cdot 10^{-12}$

TABLEAU XII

B - Compteur à graphitage externe -

Verre Novo, $e = 1$ mm, pour 20° C, $R_1 = 1,17 \cdot 10^8$ ohms. Argon : 8,5 cm de mercure + éthanol 1 cm de mercure. $V_D = 990$ volts, $V_G = 1050$ volts, $V_S = 1005$ volts, $B = 6,27 \cdot 10^{-12}$, $L = 46,5$ cm.

a - D'après (24) : $W = 50,2 \cdot 10^{-12}$ et $\Phi = 1,1$ d'après (19).

b - La courbe $P_e = f(N_o)$ donne $P_i = 7\%$ par 100 volts. Voir les résultats sur le tableau XIII. La concordance est excellente.

TABLEAU XIII

N_o par seconde	P_e % par 100 V	W d'après (25) Coulomb/volt
162	3,60	$52,7 \cdot 10^{-12}$
286	2,75	$46,2 \cdot 10^{-12}$
584	1,55	$51,5 \cdot 10^{-12}$
825	1,25	$47,6 \cdot 10^{-12}$
1200	0,90	$48,3 \cdot 10^{-12}$

C - Valeurs précises de W et Φ -

Ces résultats démontrent que les constantes caractéristiques de la zone de proportionnalité limitée s'accordent avec celles de la région de résolution. L'application des formules (19) et (24) donne les valeurs précises de W et Φ .

a - Remplissage standard -

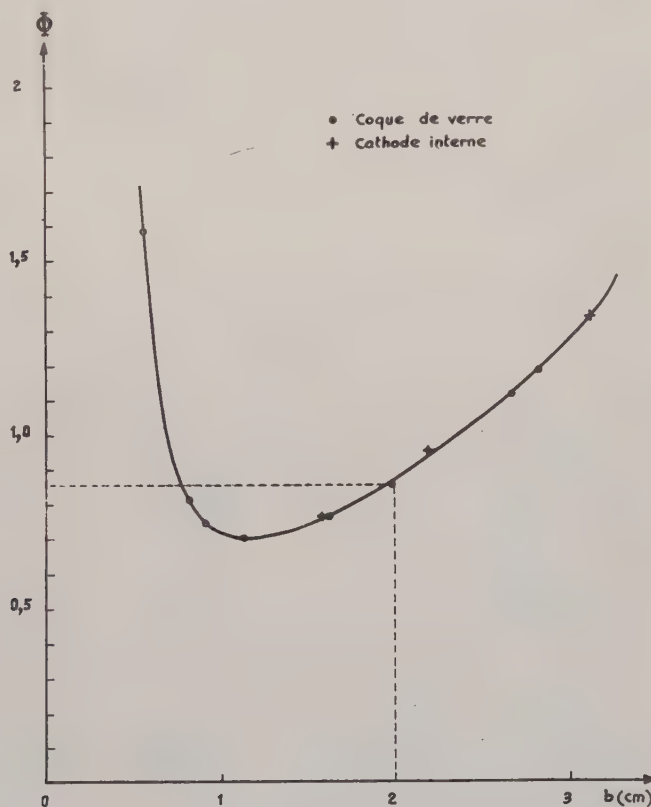
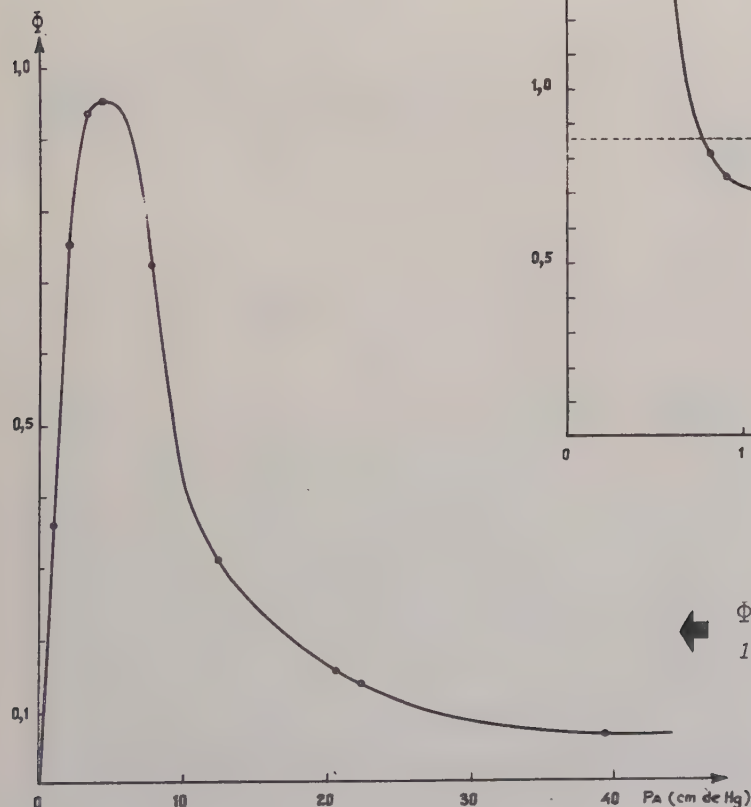
Le tableau XIV donne les valeurs de W et Φ pour une série de compteurs et la figure 49, la variation de Φ en fonction de b .

b - Variation de Φ avec P_A -

Voir le tableau XV (mêmes compteurs que pour le tableau V) et la figure 50 (b/a voisin de 100).

- FIGURE 49 -

$\Phi = f(b)$ pour argon = 8,5
à 9 cm de Hg + vapeur poly-
atomique : 1 cm de mercure



- FIGURE 50 -

$\Phi = f(P_A)$ pour b/a voisin de
100, et vapeur polyatomique
1 cm de Hg

TABLEAU XIV

VERRE	Novo	UVK-1	Novo	UVK-1	UVK-1	Novo	Novo	M-6	G-10	G-26
b (cm)	0,55	0,83	0,92	1,075	1,63	2,70	2,86	1,6	2,2	3,15
b/a	220	83	92	107,5	163	270	286	126	173	248
L (cm)	5,9	3,5	6,4	2,1	8,9	46,5	6,8	6	10,5	26
V_D (V)	760	795	770	850	865	990	997	935	975	950
V_S (V)	770	800	780	865	875	1005	1005	960	995	965
V_G^O (V)	800	840	840	935	945	1050	1040	1015	1040	995
$B \cdot 10^{12}$	5,93	4,86	4,97	5,15	5,60	6,27	6,22	5,22	5,70	5,96
$W \cdot 10^{12}$	7,38	2,85	4,44	1,62	6,37	50,2	7,92	5,03	10,73	33,9
Φ	1,58	0,81	0,72	0,69	0,75	1,1	1,18	0,76	0,95	1,34

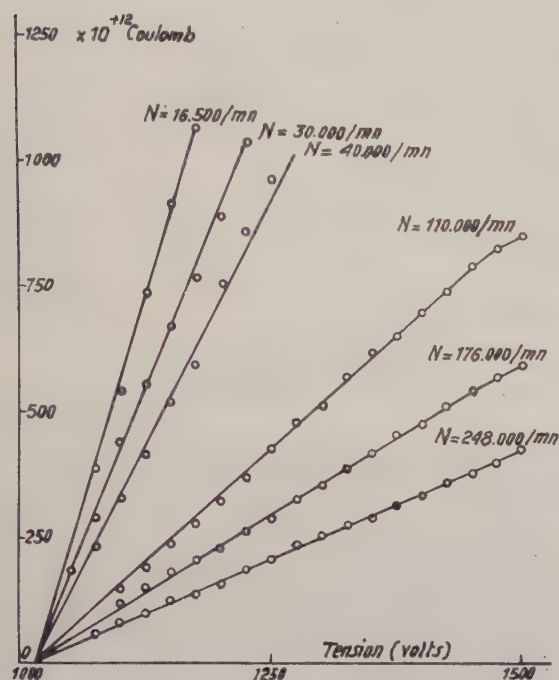
TABLEAU XV

VERRE	Novo	Novo	Novo	Novo	Novo	Novo	Novo	Novo	Novo	UVK-1	Novo	Novo
Ethanol (cm de Hg)	1	0,5	1	1,1	1	1	1	0,7	1	1,1	1	1
Argon (cm de Hg)	1,1	1,7	2,2	3,5	4,5	8,5	12,3	17,2	21	22,5	33,7	39,4
b (cm)	0,91	2,04	0,91	1,10	0,91	0,92	0,92	2,10	0,92	1,07	2,88	0,94
b/a	91	204	91	110	91	92	92	210	92	107	288	94
L (cm)	6,3	14,8	6,3	6,5	6,2	6,4	6,7	12	6,4	3,2	21	5,0
V_D (V)	880	705	890	905	925	770	910	975	1045	1000	1160	1130
V_S (V)	900	710	900	915	930	780	935	990	1070	1050	1200	1170
V_G^O (V)	998	745	975	980	975	840	1035	1075	1175	1200	1325	1295
$B \cdot 10^{12}$	3,64	6,73	6,89	7,53	7,03	4,97	3,14	2,64	1,79	1,73	1,40	0,96
$W \cdot 10^{12}$	2,54	18,6	5,34	6,52	6,85	4,44	2,35	3,73	1,24	0,52	3,02	0,49
Φ	0,36	1,69	0,76	0,93	0,96	0,72	0,31	0,30	0,15	0,13	0,12	0,068

MESURE DE LA CHARGE q PAR IMPULSION (125)

Le courant qui traverse le compteur est mesuré à l'aide d'un galvanomètre A.O.I.P. ayant une sensibilité de $5 \cdot 10^{-9}$ ampère, pour une déviation du spot de 1 mm à 1 m.

La figure 51 donne les résultats correspondant à un compteur Novo ($a = 0,1$ mm, $b = 2$ cm, $c = 1$ mm, $L = 12,8$ cm) rempli d'éthanol (1 cm de mercure) et d'argon (9,45 cm de mercure), pour N_0 allant de 16500 à 248 000 impulsions par minute, au seuil de Geiger, et à 23° C. Conformément à la formule (23) les courbes obtenues sont des droites dont l'intersection avec l'axe des abscisses définit V_s .



- FIGURE 52 - $dV/dq = f(N_0)$ pour le seuil de GEIGER (résultats déduits de la figure 51)

quand q devient égale à la charge électrostatique portée par le fil (34), (109), (110). Pour le compteur cité ici, cette charge électrostatique est de $1500 \cdot 10^{-12}$ coulomb pour $V = 1000$ volts et le point de discontinuité se place à l'extérieur de la figure 52.

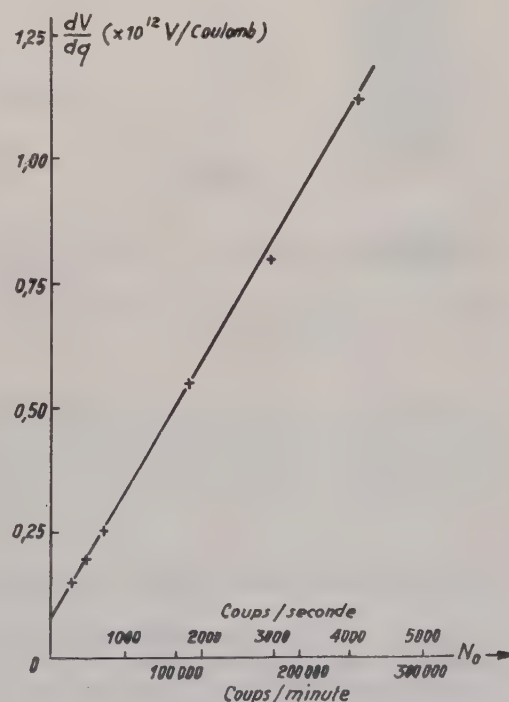
D'après la formule (23) :

$$\frac{dV}{dq} = \frac{1}{W} + N_0 R_1$$

La courbe donnant dV/dq en fonction

Pour $(V - V_s)$ assez grand, $q = f(V)$ subit une discontinuité, la pente de la droite tombant à la moitié de sa valeur initiale (31), (74) et cette discontinuité se produit

- FIGURE 51 - Charge q en fonction de V pour $b = 2$ cm, $L = 12,8$ cm, $e = 1$ mm, à 23° C. Ethanol : 1 cm de Hg, argon : 9,45 cm de Hg.



de N_0 doit être une droite d'ordonnée à l'origine $1/W$ et de pente R_1 (figure 52).

On déduit de cette figure :

$$\begin{cases} W = 12 \cdot 10^{-12} \text{ coulomb/volt} \\ R_1 = 230 \text{ Mégohms (23° C)} \end{cases}$$

$V_G = 1050$ volts, et : $\Phi = 0,85$, valeur qui vient se placer d'une façon satisfaisante sur la courbe de la figure 49.

La résistivité du verre à 23° C, déduite de R_1 est :

$$\rho = 2 \cdot 10^{11} \text{ ohms-cm}$$

Cette valeur tombe correctement sur la courbe (2) de la figure 36, obtenue par une méthode totalement différente.

La théorie se vérifie donc parfaitement.

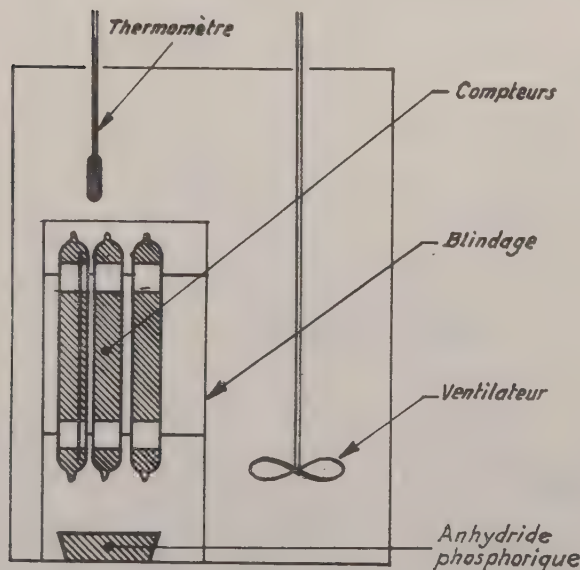


FIGURE 53 - Schéma du dispositif de refroidissement -

de mercure, argon : 9,45 cm de mercure). Les points de situent autour de la droite représentée en pointillés. Dans un intervalle de températures étroit, $\log R_1$ est une fonction linéaire de t , ce qui confirme les résultats de R. FAVRE et C. HAENNY (31).

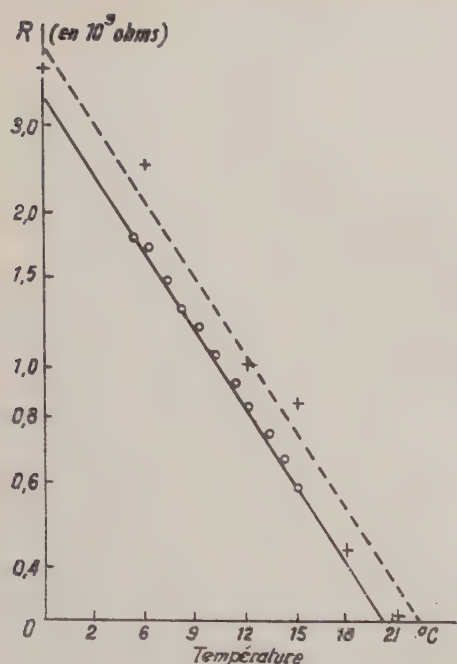
Vérification par mesure directe de la résistance -

R_1 est mesurée au mégohmmètre, sur des tubes de Novo, de même diamètre que les compteurs utilisés, graphités intérieurement et extérieurement sur une longueur égale à L . Les extrémités sont paraffinées

Calcul de R_1 en fonction de la température

Les mesures qui précèdent permettent de calculer R_1 . De façon à déterminer l'effet thermique au dessous de 20° C, les compteurs furent placés dans une chambre froide contenant un desséchant (anhydride phosphorique) destiné à éviter toute condensation d'eau sur les parois du cylindre. Un brassage énergique de l'air permet d'uniformiser la température à l'intérieur de la chambre froide (figure 53).

W varie peu avec la température La figure 54 donne les valeurs de R_1 correspondant à $e=1$ mm, $b=2$ cm et $L = 8,7$ cm (alcool : 0,55 cm



pour éliminer les effets de bord, et l'intérieur est rempli de limaille de laiton assurant une bonne conductibilité électrique.

La courbe en traits pleins de la figure 54 donne les résultats pour $b=2$ cm $e = 1$ mm, $L = 8,7$ cm. La concordance avec les calculs déduits de la mesure des charges est satisfaisante. L'écart observé entre les deux droites semble provenir d'une erreur systématique due à un mauvais isolement électrique des extrémités du tube novo graphité.

← FIGURE 54 - $R = f(t)$ pour $b = 2$ cm, $e = 1$ mm, $L = 8,7$ cm.

Courbe en traits pointillés: calcul d'après les mesures de charge. Courbe en traits pleins: mesure directe de la résistance.

QUATRIEME PARTIE

*COMPTEURS A CATHODE EXTERNE REMPLIS DE VAPEUR
POLYATOMIQUE PURE*

Chapitre 1

CARACTERISTIQUES ESSENTIELLES DE FONCTIONNEMENT

INTRODUCTION

Les résultats obtenus dans la seconde partie de ce Mémoire incitent à étudier le comportement de vapeur pure dans les compteurs à coque de verre, les détecteurs ainsi réalisés semblant particulièrement adaptables à des irradiations intenses.

Ce problème est nouveau, tout au moins en ce qui concerne les compteurs à graphitage externe. Des recherches ont été faites sur des compteurs à cathode interne remplis de vapeur pure, mais les études n'ont pas été conduites en vue d'applications pratiques, comme le montre l'analyse qui suit :

En 1935, A. TROST (131) fait allusion à des remplissages d'éthanol pur - sans aucun détail -. En 1936, G.L. LOCHER (132) cite - toujours sans donner de précisions - des remplissages de diméthylaniline, d'anisole et de brome purs. Les circuits de comptage utilisés à cette époque ne permettaient pas une étude approfondie.

En 1940, M. JEZEWSKI et M. MIESOWICZ (133) utilisèrent de l'acétone et de l'éthanol purs, sous la pression de 1 cm de mercure, mais sans résultat positif, cette pression étant beaucoup trop faible (voir plus loin) pour donner des détecteurs utilisables. Leur travail portait essentiellement sur la détermination des pressions optima d'argon ou d'hydrogène à ajouter à la vapeur polyatomique.

Le remplissage autocoupeur habituellement utilisé comporte de l'argon, sous la pression de 9 cm de mercure, et de la vapeur polyatomique sous la pression de 1 cm de mercure (134). Les qualités d'autocoupeur

dépendent de la pression de la vapeur polyatomique et P. WEISZ (8), en 1942, reprit le problème sur des mélanges argon - éther éthylique : la pression totale étant de 6 cm de mercure, les conditions optima correspondent à une proportion d'éther de 20 à 25 %; pour 100 % d'éther, il n'existe plus de palier, résultat peu encourageant pour l'utilisation de vapeur pure.

G.D. ROCHESTER et L. JANOSSY (1942), (135) mesurèrent l'efficacité de compteurs argon - éthanol ($L = 40$ cm, $b = 3$ cm, $a = 0,1$ mm) en fonction de la pression partielle de l'alcool. Ils utilisèrent des remplissages d'éthanol pur sous les pressions de 0,25, 1, 2, 3 et 4 cm de mercure. Le palier n'est appréciable que pour des pressions comprises entre 1 et 2 cm de mercure. L'efficacité est de 91 à 98 % pour le rayonnement cosmique. Ces auteurs ne précisent pas la pente, la longueur du palier, ni les tensions de fonctionnement. Ils ne citent de tels remplissages que comparativement aux mélanges usuels. Presque simultanément (1943), W.D.B. SPATZ (67) a étudié l'influence du pourcentage d'alcool sur la pente du palier : la pente augmente avec la pression d'alcool, fait attribué par lui à l'air dissous dans l'alcool.

En 1945, G.D. ROCHESTER et G.B.A. MAC-CUSKER (136), étudièrent plus en détail le rôle de la pression partielle de l'alcool. Opérant à 40° C, ce qui permet de réaliser des pressions d'alcool relativement élevées (tension de vapeur = 13 cm de mercure), ils réalisèrent des remplissages d'alcool pur. La

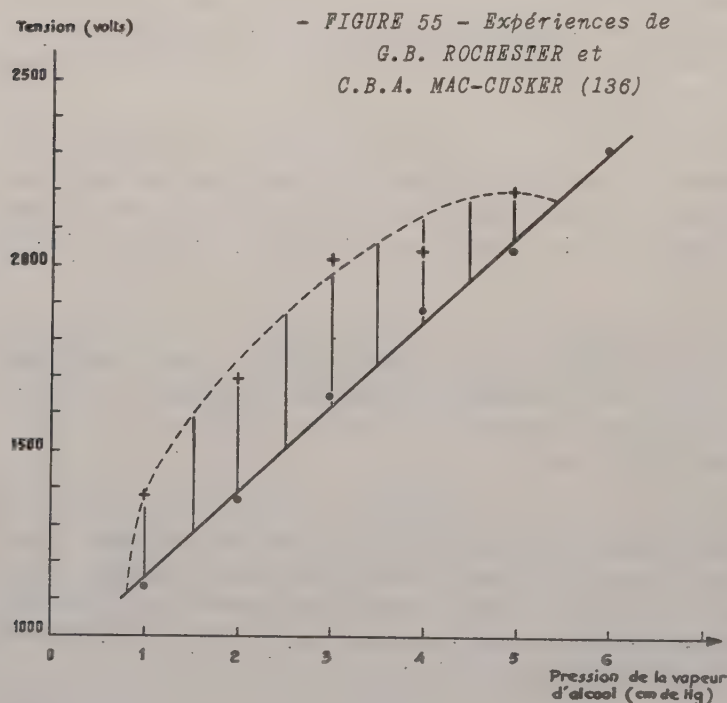


figure 55 résume leurs résultats. La droite représente les potentiels de démarrage et la ligne pointillée correspond au début des décharges multiples. La différence des ordonnées entre les 2 courbes donne la longueur du palier.

S.J. DU TOIT (137) obtint des résultats comparables. Il faut noter également qu'un certain nombre d'auteurs cite des remplissages à forte concentration d'éthylène (138) ou de tétraméthyl plomb pur (139) (140) (141).

D'autre part, P. HUBER, E. BALDINGER et W. HUNZINGER (142) ont utilisé des remplissages à forte propor-

tion d'éthanol (3 cm de mercure d'alcool pour 5 cm de mercure d'argon) pour étudier certaines impulsions alpha, dans la zone de résolution.

Le problème des compteurs à remplissages de vapeur pure a

surtout été traité par E. FUNFER et H. NEUERT (1950), particulièrement sur le méthylal, et dans les zones de proportionnalité totale et limitée, sous irradiations alpha et beta. (143) : le coefficient d'amplification atteint des valeurs beaucoup plus grandes que dans le cas des mélanges classiques, sans que se produise un effet disruptif. Ces auteurs retrouvent (144) avec divers remplissages, et sous irradiation alpha radiale, les impulsions anormalement grandes signalées par H. HUBER et alii (142). Les remplissages utilisés (144) étaient : méthylal pur, acétate d'éthyle pur, acétate de méthyle pur, éthanol pur, méthanol pur, méthane pur, méthane + méthylal, argon + éthanol, acétate d'amyle pur, ammoniac. La durée des très grandes impulsions dépasse d'un ordre de grandeur celle des impulsions proportionnelles normales (145). H. NEUERT (146) a étudié le développement latéral de la décharge dans des compteurs remplis de méthylal pur, dont le mécanisme se rapprocherait de celui des compteurs autocoupeurs classiques. Il a aussi déterminé le processus donnant naissance aux impulsions anormalement grandes (147). Indépendamment de cet auteur, R. AKPINAR (148) a étudié la propagation de la décharge pour l'alcool pur et sous irradiation alpha. Ses travaux font suite à ceux de S. AKPINAR (149).

Il convient de signaler que l'utilisation de compteurs contenant du méthane pur est courante (22), (23). De tels remplissages présentent, dans la région proportionnelle et sous irradiation alpha, les impulsions anormalement grandes décrites plus haut, (150).

A. TROST (151) a utilisé des remplissages de méthylal pur, dans la région de proportionnalité, pour étudier l'enregistrement direct des impulsions par thyatron. Enfin E. BAGGE et J. CHRISTIANSEN (152), (153) ont décrit quelques propriétés de compteurs à plaques parallèles du type compteurs à étincelles [voir (154)], pour des remplissages d'alcool, de méthylal, ou d'un mélange des deux et une tension de fonctionnement inférieure au potentiel disruptif statique. Le palier est long de 100 volts, le seuil de l'ordre de 3000 volts, pour une surface d'électrode de 80 cm^2 et une distance inter-électrodes de 0,8 cm.

Cette analyse serait incomplète si n'étaient pas citées les études de H. GEIGER et O. HAXEL (155), de R. RICHARD FOY (156) sur des compteurs remplis de brome pur sous basse pression et de H. NEUERT et J. GEERK (157) sur des remplissages d'ammoniac pur.

En résumé, comme je l'ai dit plus haut, l'ensemble des articles publiés sur cette question montre que les études, bien qu'assez nombreuses, n'ont pas été envisagées du point de vue utilisation pratique : on ne trouve aucune indication sur les courbes de palier dans la région de résolution, la plupart des expériences ayant été faites à l'aide d'amplificateurs linéaires, et dans la région de proportionnalité. De plus, il n'y a aucun renseignement sur le comportement de ces compteurs sous irradiation gamma, or, les tailles d'impulsions dépendent alors beaucoup du nombre d'ions primaires.

CHOIX DU COMPOSE ORGANIQUE

Il doit pouvoir être introduit sous une pression suffisante, c'est à dire avoir à la température ambiante une tension de vapeur assez grande. Sa purification doit être aussi facile que possible.

Les hydrocarbures aliphatiques, saturés ou non, pourraient convenir (158), mais ils ont le défaut de donner des temps de vie très courts (23) et des caractéristiques assez médiocres (159).

L'éthanol présente à la température ambiante une tension de vapeur trop faible (4 cm de Hg à 19° C) pour donner une large gamme de remplissages. Je donnerai cependant plus loin quelques détails concernant son utilisation.

Le choix d'un composé organique est guidé par la valeur du coefficient de libération d'électrons secondaires sur la surface cathodique.* H. BERETTA et A.M. BIANCHI (160) ont mesuré ce coefficient k pour une cathode de laiton. Pour :

Méthylal	$k = 0,57 \pm 0,12 \cdot 10^{-10}$
Alcool méthylique	$= 0,97 \pm 0,13 \cdot 10^{-10}$
Alcool éthylique	$= 0,76 \pm 0,08 \cdot 10^{-10}$
Acétate de méthyle	$= 1,32 \pm 0,09 \cdot 10^{-10}$
Acétate d'éthyle	$= 1,01 \pm 0,09 \cdot 10^{-10}$

Le méthylal ($\text{CH}_3\text{-O-CH}_2\text{-O-CH}_3$) apparaît comme le produit le plus favorable. Son spectre d'absorption dans l'ultraviolet est diffus (161) et dans un remplissage argon-méthylal classique il absorbe ainsi entièrement les photons émis par l'argon (162), conformément à la théorie classique. D'autre part, sa volatilité est suffisante (E_b : 41,3° - 41,8° sous 753 mm, tension de vapeur voisine de 20 cm Hg à 20°C) (163). Le méthylal est couramment utilisé dans les compteurs à remplissages classiques autocoupeurs. Voir, par exemple (54), (164), (165).

ETUDE EN FONCTION DE LA PRESSION DU METHYLAL

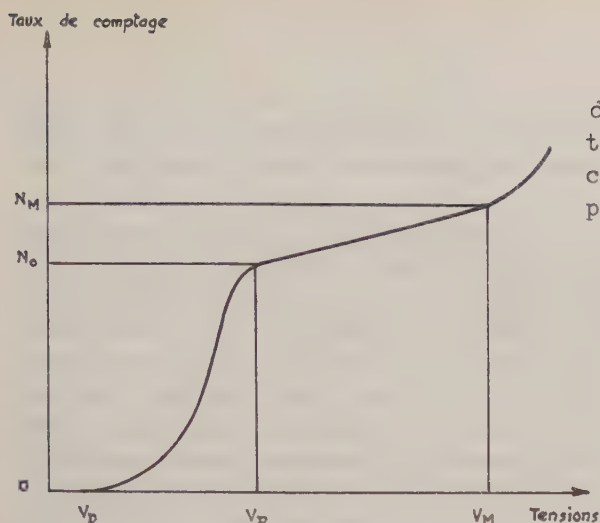
Les résultats qui suivent correspondent à un seuil de circuit de 0,1 volt. J'étudierai plus loin l'influence de la valeur du seuil.

Aspect des caractéristiques de comptage -

Quel que soit le seuil du circuit, l'aspect du palier est donné par la figure 53. Le comptage commence pour une tension V_D et, pour une tension V_P débute un palier du type de ceux des compteurs classiques. Au dessus de V_M apparaissent des impulsions multiples.

V_D , V_P , V_M sont des fonctions de la géométrie du compteur, de la pression

* Le coefficient k est égal au rapport entre l'augmentation du nombre d'impulsions et l'accroissement de nombre d'ions qui atteignent la cathode par unité de temps, d'où une augmentation donnée de la tension.



du seuil du circuit associé, et du taux de comptage. J'étudierai successivement l'influence de ces divers paramètres.

← - FIGURE 56 - Palier d'un compteur rempli de méthylal pur -

Influence du rapport L/b -

Les résultats qui suivent ne peuvent avoir un caractère général que si, pour b donné, ils ne dépendent pas de la longueur efficace L .

Pour déterminer l'influence de L/b , j'ai employé des compteurs à cathode multiple du modèle de la figure 7, mais sans perle sur le fil, chaque section graphitée fonctionnant séparément quand les autres sont à la tension du fil.

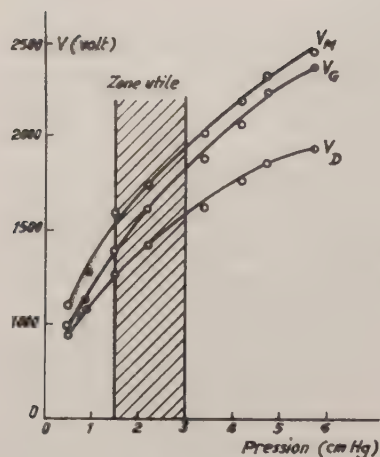
Les caractéristiques obtenues sous irradiation assez modérée pour que v soit négligeable, sont identiques pour $L/b \geq 3$, mais V_D , V_P et V_M augmentent très rapidement pour $L/b < 2$.

Le tableau XVI donne l'augmentation V_D et V_P par rapport aux valeurs obtenues pour $L/b \geq 3$, pour $L/b = 1,07$, $b = 2,8$ cm et divers remplissages.

Les résultats sont analogues à ceux obtenus par CHAUDHRI et A.G. FENTON (73). Toutes les valeurs données plus loin correspondent à $L/b \geq 3$.

- TABLEAU XVI -

PRESSION (cm Hg)	METHYLAL				1,0 Alcool 0,1 Argon
	0,5	1,5	3,4	4,2	
ΔV_D (v)	40	174	248	343	450
ΔV_P (v)	15	115	146	293	430



- FIGURE 57 - V_D , V_P et V_M en fonction de la pression du méthylal. $b = 2,8$ cm, $a = 0,1$ mm, $L > 3b$. Fond cosmique. $t = 23^\circ$ C

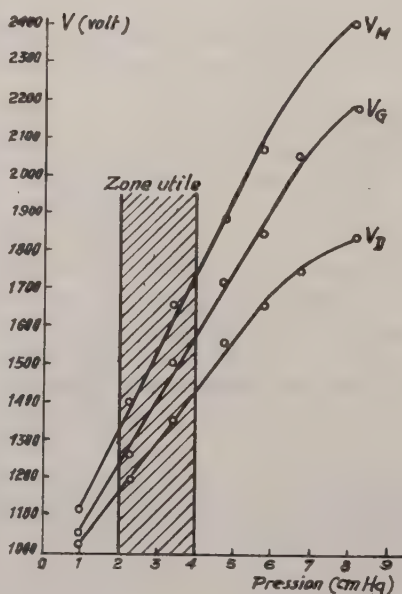
Des courbes du même type ont été obtenues par S. C. BROWN (166) pour l'hélium pur et par C.L. HAINES (167) pour l'hydrogène, l'air, l'hélium, l'argon, c'est à dire des gaz non auto-coupeurs, enfin par G.D. ROCHESTER et par C.B.A. MAC-CUSKER (136) pour l'éthanol. Les figures 57, 58 et 59 résument les résultats obtenus pour le fond cosmique.

Les compteurs étaient remplis par séries de six, pour minimiser les fluctuations inévitables des seuils d'un compteur à l'autre. Les valeurs données ici sont les moyennes des valeurs mesurées pour l'ensemble de chaque série.

A titre de comparaison, avec le remplissage classique : alcool 1 cm de mercure + argon 9,45 cm de mercure, les compteurs de 2 cm de diamètre ont, pour le fond cosmique : $V_D = 1040$ volts, $V_G = 1090$ volts, ceux de

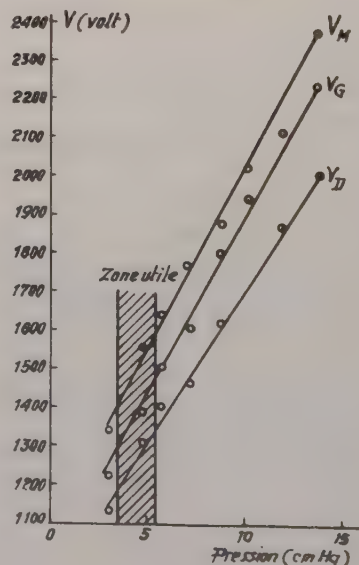
Tensions caractéristiques V_D , V_P , V_M

Lorsque la pression est faible, ces tensions varient de façon sensiblement linéaire en fonction de la pression, mais les courbes cessent d'être des droites et l'augmentation en fonction de la pression est plus lente au dessus de 1,5 cm de mercure pour $b=2,8$ cm et 6 cm de mercure pour $b=2$ cm. Pour $b=1$ cm, les courbes restent linéaires pour la pression de 14 cm de mercure; au dessus, la pression est trop voisine de la tension maximum pour que le compteur soit utilisable (voir plus loin)



- FIGURE 58 - V_D , V_P et V_M en fonction de la pression du méthylal $b = 2$ cm, $a = 0,1$ mm, $L > 3b$. Fond cosmique. $t = 21^\circ$ C

- FIGURE 59 - V_D , V_P et V_M en fonction de la pression du méthylal $b = 1$ cm, $a = 0,1$ mm, $L = 5$ cm. Fond cosmique, $t = 20^\circ$ C.



3 cm de diamètre : $V_D = 1140$ volts, $V_G = 1180$ volts. L'utilisation de méthylal pur augmente la tension d'utilisation de 200 à 400 volts, ce qui ne constitue pas un inconvénient essentiel.

Pour des pressions de plus en plus faibles, le compteur possède une caractéristique normale pour un taux de comptage faible, mais ne parvient pas à suivre une irradiation intense, le taux de comptage tendant rapidement vers une valeur limite.

Les valeurs minima de la pression utilisable sont :

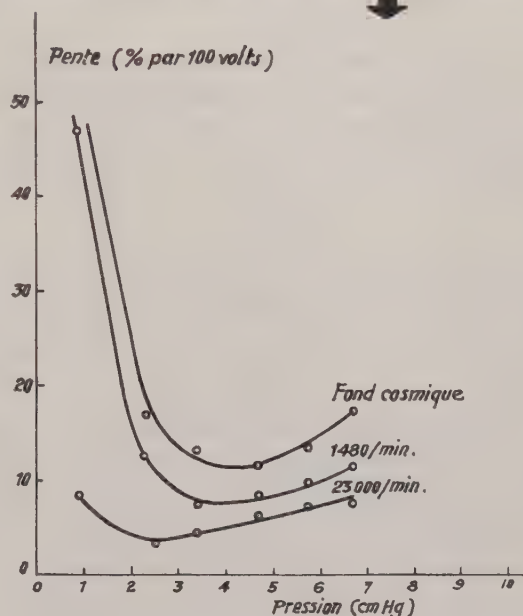
$\left\{ \begin{array}{l} 1,5 \text{ cm de mercure pour } b = 1 \text{ cm} \\ 1,0 \text{ cm de mercure pour } b = 2 \text{ cm} \\ 0,5 \text{ cm de mercure pour } b = 2,8 \text{ cm} \end{array} \right.$

Ces valeurs sont inversement proportionnelles à b . La longueur de la région ($V_P - V_D$) est une fonction croissante de la pression : c'est pourquoi il est avantageux d'utiliser des remplissages de méthylal pur sous pression élevée dans les compteurs proportionnels (143), (144), (145).

Pente, efficacité gamma -

La pente du palier diminue quand la pression augmente, passe par un minimum et augmente lentement. Autour de ce minimum se situe la zone optimum d'utilisation pratique. La figure 60 donne

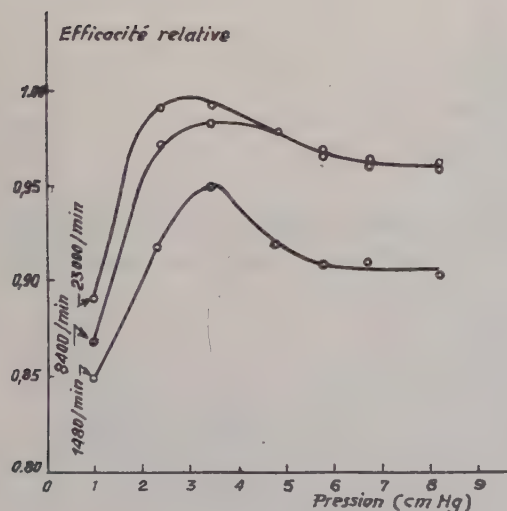
- FIGURE 60 - Pente (% par 100 V) en fonction de la pression. $b = 2$ cm, $a = 0,1$ mm, $t = 21^\circ \text{C}$.



en fonction de la pression, les valeurs de la pente (% par 100 volts) pour les compteurs de $b = 2$ cm, sous diverses irradiations gamma.

Pour déterminer l'efficacité gamma, j'ai comparé ces remplissages à un mélange standard d'éthanol (1 cm de mercure) et d'argon (9,45 cm de mercure) sous la même irradiation.

- FIGURE 61 - Efficacité gamma relative en fonction de la pression, $b = 2$ cm, $a = 0,1$ mm, $t = 21^\circ \text{C}$



Quel que soit b , l'efficacité obtenue augmente avec la pression passe par un maximum, puis diminue lentement. Les valeurs de cette efficacité obtenues pour $b = 1$ cm sont portées dans le tableau XVII.

La figure 61 donne l'efficacité relative en fonction de la pression, pour les compteurs de 2 cm de diamètre.

Les zones d'efficacité maximum et de pente minimum coïncident : le compteur donne alors les meilleures performances.

TABLEAU XVI I

N/MINUTE MELANGE STANDARD	480	3 300	7 400
Pression cm de Hg			
1,5	0,58	0,60	0,65
2,95	0,72	0,78	0,93
4,75	0,85	0,91	0,98
5,70	0,79	0,84	0,92
7,20	0,70	0,78	0,82
8,90	0,53	0,67	0,73
10,20	0,54	0,65	0,70
12,0	0,55	0,65	0,72
13,8	0,56	0,67	0,75

Cette bande de pression va de :

- 3,5 à 5,5 cm de mercure pour $b = 1$ cm
- 2 à 4 cm de mercure pour $b = 2$ cm
- 1,5 à 3 cm de mercure pour $b = 2,8$ cm

En ce qui concerne le coefficient de température, pour tous les remplissages étudiés le fonctionnement est satisfaisant au dessus de 8° C.

* *

ETUDE EN FONCTION DU TAUX DE COMPTAGE

Les paramètres : pression, seuil du circuit associé sont fixés.

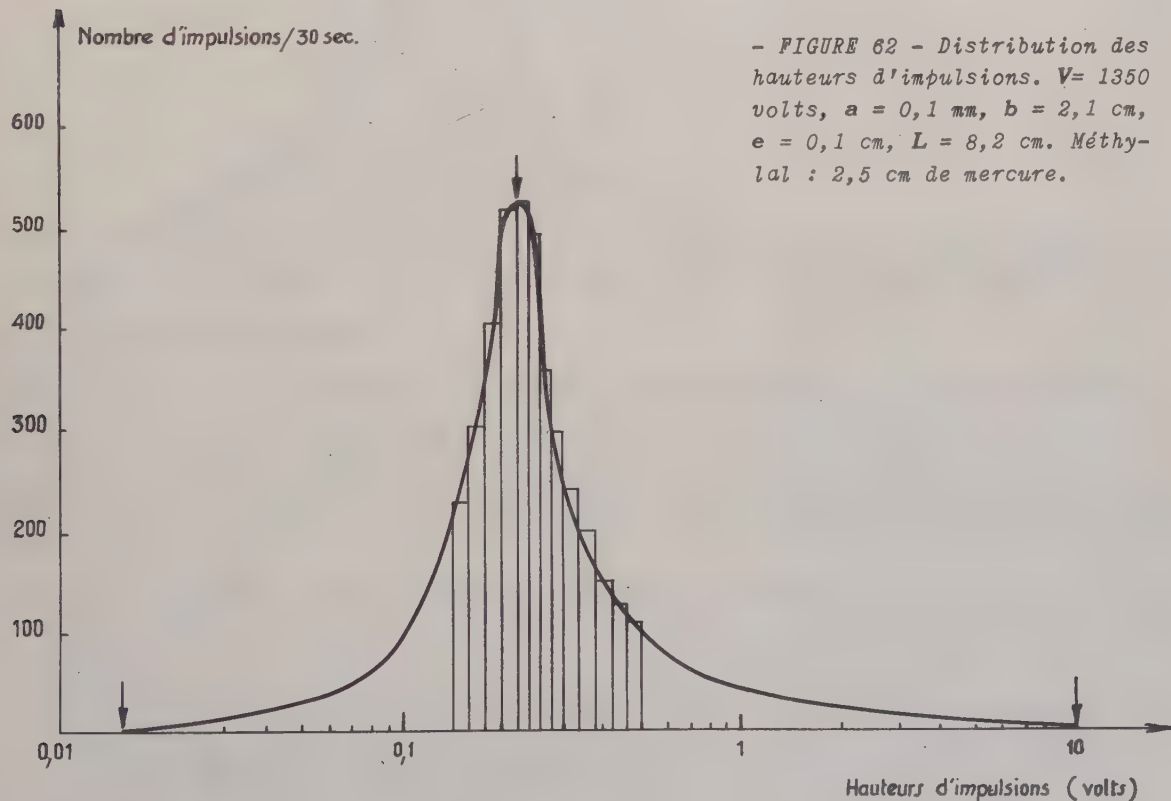
Répartition statistique des hauteurs d'impulsions -

Alors que, pour un remplissage classique, les impulsions sont de même taille au dessus de V_G , quel que soit le nombre d'ions primaires formés, une étude oscillographique montre que, pour une vapeur pure, les impulsions ne sont pas de taille uniforme.

Le sélecteur d'amplitude (voir les figures 14 et 17) permet, pour une tension donnée, de mesurer le nombre d'impulsions ayant des tensions de crête comprises entre deux valeurs successives du seuil.

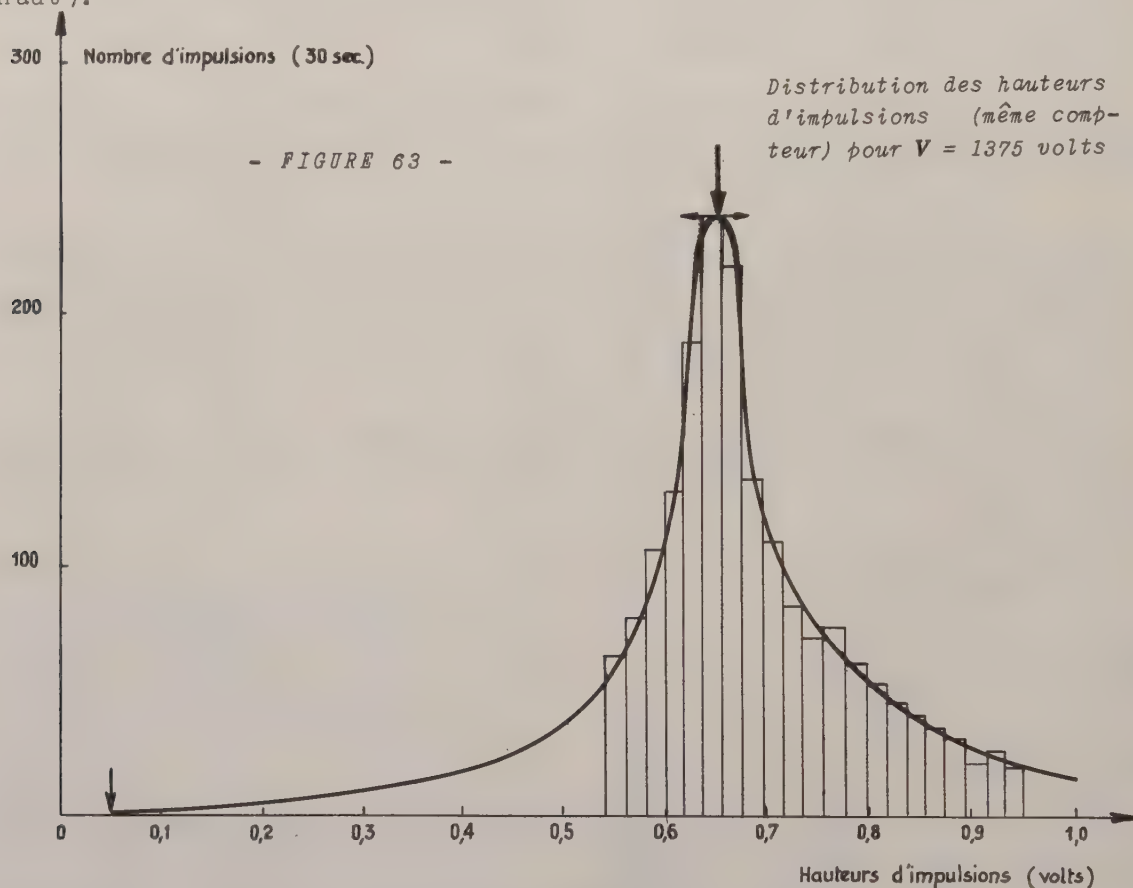
Je prendrai l'exemple d'un compteur "novo" de $a = 0,1$ mm, $b = 2,1$ cm, $e = 0,1$ cm et $L = 8,2$ cm, rempli de méthylal pur sous la pression de 2,5 cm de mercure. Les seuils utilisés allaient de 0,14 volt à 0,96 volt, par échelons successifs de 0,02 volt; les impulsions de tailles maximum ou minimum étaient mesurées sur l'écran d'un oscillographe cathodique.

La figure 62 donne les résultats obtenus pour $V = 1350$ volts. $v_m = 0,015$ volt, $v_M = 10$ volts, le maximum de la répartition différentielle étant $v = 0,22$ volt.



La figure 63 donne la répartition pour $V = 1375$ volts, $v_m = 0,05$ volt, $v_M = 18,5$ volts et $v = 0,85$ volt.

D'une façon générale, il existe, pour une irradiation gamma donnée (ici les gammas du Cobalt), et pour chaque tension d'utilisation, une charge minimum d'impulsion q_m , une charge maximum q_M et une charge moyenne $\bar{q}$ obtenue en divisant la somme des charges par le nombre correspondant d'impulsions (elle ne correspond pas au maximum obtenu plus haut).



Variation du seuil du palier avec le taux de comptage .-

Soit V_p^0 le seuil du palier correspondant à un taux de comptage assez faible pour que le potentiel v de la paroi interne du verre soit négligeable. A cette tension correspond une valeur $\bar{q}$ de la charge moyenne.

De même que pour un compteur à remplissage classique, la formule (2) s'applique :

$$\Delta V_p = N_0 \bar{q} R_1$$

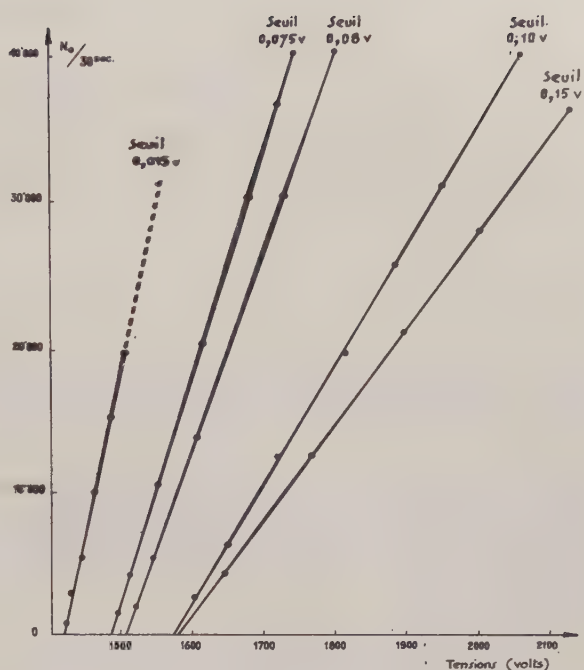
La variation de V_p avec N_0 doit donc être linéaire. Ce résultat a été

vérifié pour une gamme étendue de remplissages.

La figure 64 donne les droites $V_P^{N_0} = f(N_0)$ pour un compteur "novo" de $a = 0,1$ mm, $b = 2$ cm, $e = 0,8$ mm et $L = 9$ cm, rempli de méthylal pur sous la pression de 3,2 cm de mercure et pour différentes valeurs du seuil du circuit associé.

De la pente de la droite, se déduit la valeur de $\bar{q}$ pour chaque valeur de V_P . J'y reviendrai plus loin.

- FIGURE 64 -
 $V_P^{N_0} = f(N_0)$ pour diverses valeurs du seuil du circuit associé -

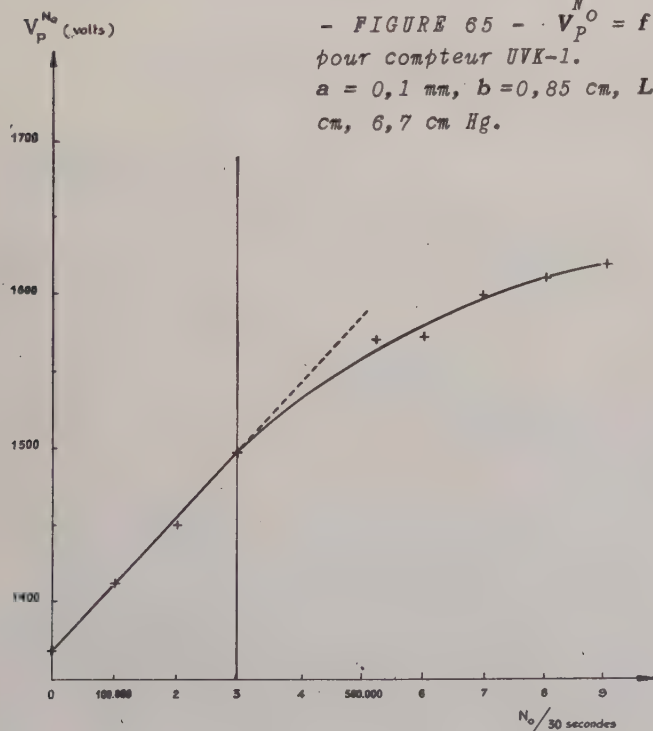


Mesure du temps de restitution

L'expérience montre que, comme pour les remplissages autocoupeurs classiques, la variation du seuil du palier reste une fonction

linéaire du taux de comptage N_0 jusqu'à une valeur N_R au dessus de laquelle la variation est plus lente.

- FIGURE 65 - $V_P^{N_0} = f(N_0)$ pour compteur UVK-1.
 $a = 0,1$ mm, $b = 0,85$ cm, $L = 6$ cm, 6,7 cm Hg.



La théorie faite au chapitre 2 de la seconde partie peut être appliquée au cas actuel. De la mesure du temps de restitution τ se déduit la mobilité ionique du méthylal.

Je prendrai l'exemple d'un compteur UVK-1 ($a = 0,1$ mm, $b = 0,85$ cm, $L = 6$ cm, $e = 1$ mm) rempli sous la pression de 6,7 cm de mercure. La variation de V_P en fonction de N_0 est donnée par la figure 65. $N_R = 10\,000$ impulsions par seconde, d'où :
 $\tau = 10^{-4}$ seconde

L'application de la formule (10) donne :

$$K = 0,28 \text{ cm/s/volt/cm,}$$

avec une précision comparable à celle obtenue dans le cas des remplissages autocoupeurs classiques. Ce résultat confirme que l'application de la formule (11) est bien justifiée.

ETUDE EN FONCTION DU SEUIL DU CIRCUIT ASSOCIE

Variation des tailles d'impulsions avec la tension -

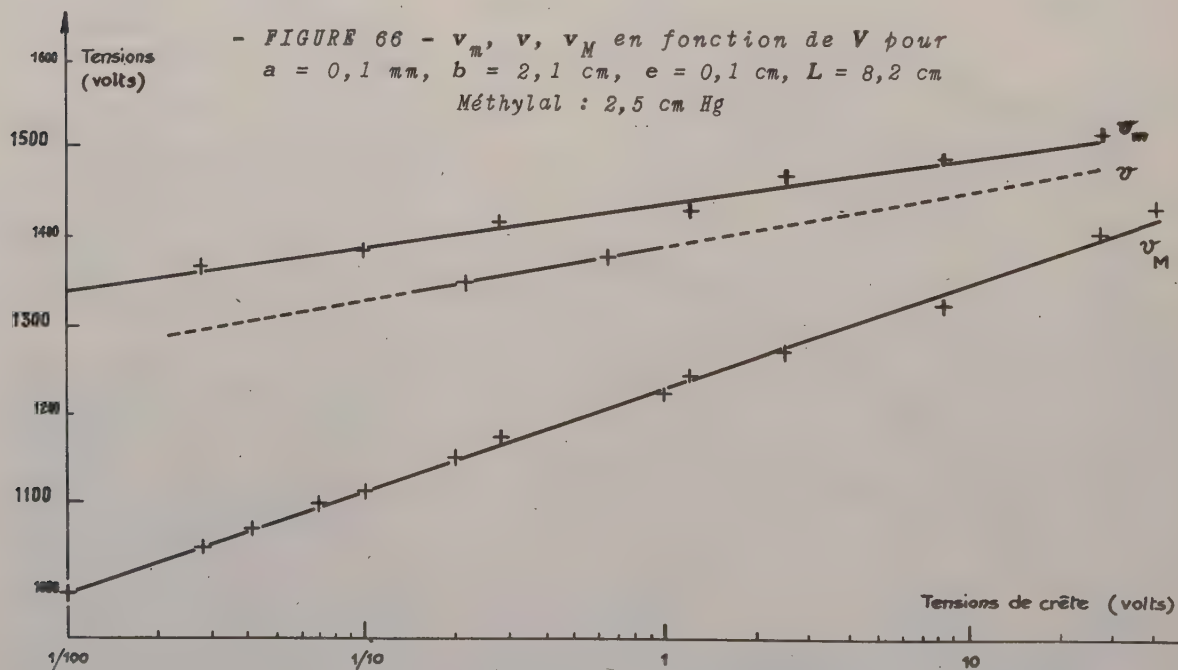
Pour chaque tension d'utilisation V , comme on l'a vu, les hauteurs d'impulsions se répartissent entre une valeur minimum v_m et une valeur maximum v_M . Par suite :

Pour la tension V_D , v_M est égal au seuil du circuit associé

Pour la tension V_P , v_m est égal au seuil du circuit associé.

La mesure de V_D et de V_P en fonction de diverses valeurs du seuil permet de construire les courbes $v_m = f(V)$ et $v_M = f(V)$

La figure 66 correspond au compteur déjà utilisé pour les figures 62 et 63 (Novo, $a = 0,1 \text{ mm}$, $b = 2,1 \text{ cm}$, $e = 0,1 \text{ cm}$ et $L = 8,2 \text{ cm}$ -



méthylal : 2,5 cm de mercure). Les deux valeurs v des maxima de répartition sont portées sur le graphique.

Entre 1000 et 1500 volts, v_m , v et v_M sont des fonctions exponentielles de la tension, les remplissages de méthylal pur suivant, malgré la grande valeur du coefficient d'amplification dans le gaz, les lois des compteurs proportionnels.

Variation de $\bar{q}$ en fonction de V -

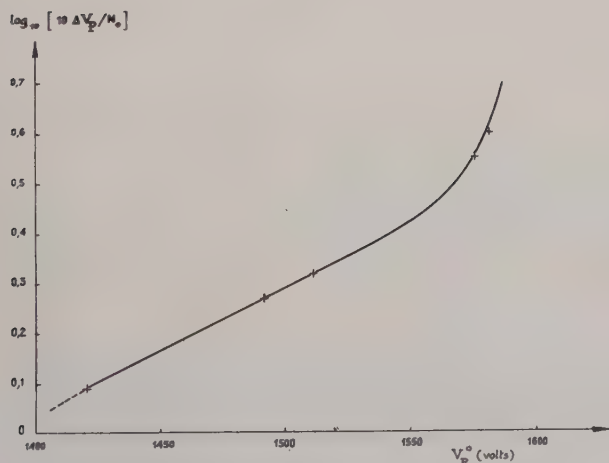
D'après la formule (2), de la pente V_P/N_O se déduit la quantité ($\bar{q} R_1$). Je reprendrai le compteur de la figure 64. Le tableau XVIII donne les valeurs obtenues; la figure 67 donne la variation de $\log_{10} (10 \Delta V_P/N_O)$ en fonction de V_P : la variation est linéaire jusqu'à une tension de l'ordre de 1540 volts. Au dessus, la variation est plus rapide.

$\bar{q}$ suit la loi des compteurs proportionnels jusqu'à 1540 volts, mais, au dessus de cette tension, le nombre des photons produits dans chaque décharge est plus grand, la propagation de la décharge augmente et l'on tend vers la zone de résolution.

TABLEAU XVIII



V_P^0 volts	$V_P/N_O = \bar{q} R_1$	$\log_{10} [10 \Delta V_P/N_O]$
1420	0,123	0,090
1490	0,186	0,270
1510	0,210	0,322
1575	0,356	0,551
1580	0,400	0,602



- FIGURE 67 -

$\log_{10} (10 \Delta V_P/N_O) = f(V)$
 3,2 cm de Hg. $a = 0,1$ mm -
 $b = 2$ cm - $e = 0,8$ mm
 $L = 9$ cm



- Chapitre 2 -

PHENOMENES PHYSIQUES MIS EN EVIDENCE A
L'AIDE DES REMPLISSAGES DE
VAPEUR PURE

L'utilisation de vapeur de méthylal sous une pression inusitée permet de mettre en évidence des phénomènes indécélables, parce que trop peu importants, pour les pressions courantes voisines de 1 cm de mercure.

VIEILLISSEMENT DU COMPTEUR APRES REMPLISSAGE

Le "vieillissement" est l'évolution dans le temps des propriétés d'un compteur "neuf", c'est à dire n'ayant subi qu'un très petit nombre d'impulsions. Il ne faut pas le confondre avec le temps de vie, qui sera étudié dans la cinquième partie de ce Mémoire.

1° - Evolution du palier et des seuils (168) -

Etudiant, dans des compteurs à étincelles, des mélanges argon-xylène, J.W. KEUFFEL (169) constata que le compteur ne fonctionnait correctement que si la vapeur polyatomique était introduite la première. Il attribue cet effet à la formation d'une couche de xylène liquide sur la cathode.

D'autre part, B. TANYEL (170) a utilisé des remplissages argon-xylène dans des compteurs constitués d'un fil tendu entre deux électrodes planes parallèles. L'amélioration progressive du palier après remplissage apporte une confirmation à la formation lente d'une couche de xylène sur les électrodes.

Ces deux auteurs ont opéré sous une pression de vapeur voisine

* Il serait plus correct de désigner par le terme "formation"

de la saturation, mais OM PARKASH (175) n'a pu mettre en évidence un tel phénomène sur des compteurs cylindriques remplis de mélanges argon-alcool courants.

D'après ce qui précède, des remplissages de méthylal pur seront particulièrement indiqués pour mettre en évidence la formation d'un film, la pression partielle du constituant polyatomique étant alors égale à la pression totale. Les compteurs ont été remplis sous une pression voisine de 7 cm de mercure, valeur par ailleurs trop élevée pour donner les caractéristiques optima, comme il a été dit plus haut. *b* était relativement faible (1 cm), ce qui augmente le rapport de la surface latérale au volume et favorise les phénomènes créés par un dépôt éventuel sur le cylindre. Pour des compteurs de 2 et 3 cm de diamètre, les effets attendus sont plus faibles et peu supérieurs aux fluctuations inévitables des caractéristiques.

La formation d'un film de méthylal - ou une adsorption progressive sur les parois - doivent s'accompagner d'une diminution de la pression à l'intérieur du compteur, donc d'un abaissement du seuil du palier.

Les compteurs se classent en deux catégories :

A - Ceux pour lesquels, après remplissage, il existe un palier de comptage de longueur normale.

B - Ceux pour lesquels, après remplissage, il n'existe aucune caractéristique de comptage, le compteur rentrant directement en décharge continue : le palier se forme progressivement.

Compteurs de la catégorie A - (fabrication normale, sans étuvage) -

Pour six compteurs étudiés à la température de 20°C et pour divers taux de comptage :

1 - Les seuils de palier diminuent progressivement. Le glissement est compris entre 50 et 100 volts (seuil initial voisin de 1380 volts).

2 - La longueur du palier demeure sensiblement constante.

3 - L'efficacité gamma (1 MeV) pour une surtension donnée, augmente régulièrement, mais faiblement (10% au maximum).

4 - Le compteur tend vers une caractéristique limite, atteinte au maximum au bout de 24 heures.

La figure 68 résume ces phénomènes.

Compteurs de la catégorie B - (dégazage des parois plus poussé).

Ils sont obtenus en chauffant pendant quelques minutes, à l'aide de lampes infra-rouges, la coque du compteur. Un chauffage plus intense ou plus long détériore la caractéristique pour un temps très long, comme je l'ai précédemment dit (voir page 27).

La figure 69 donne les résultats obtenus pour un compteur

- FIGURE 68 - Vieillissement après remplissage d'un compteur de la catégorie A -

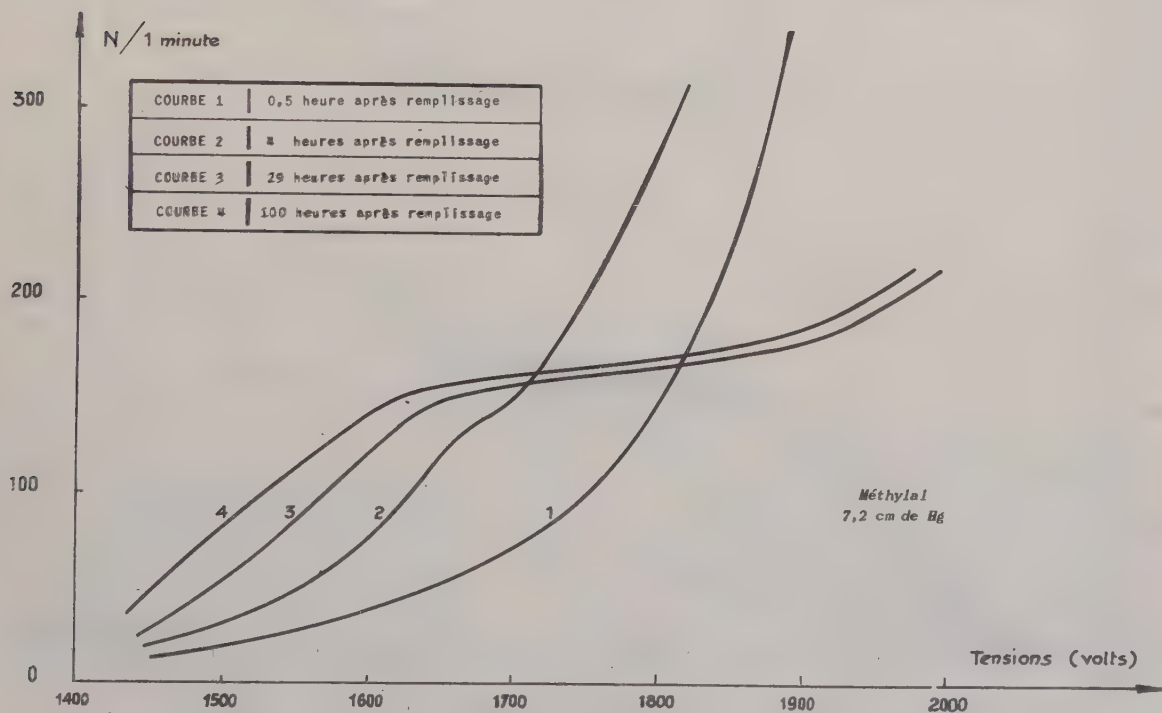
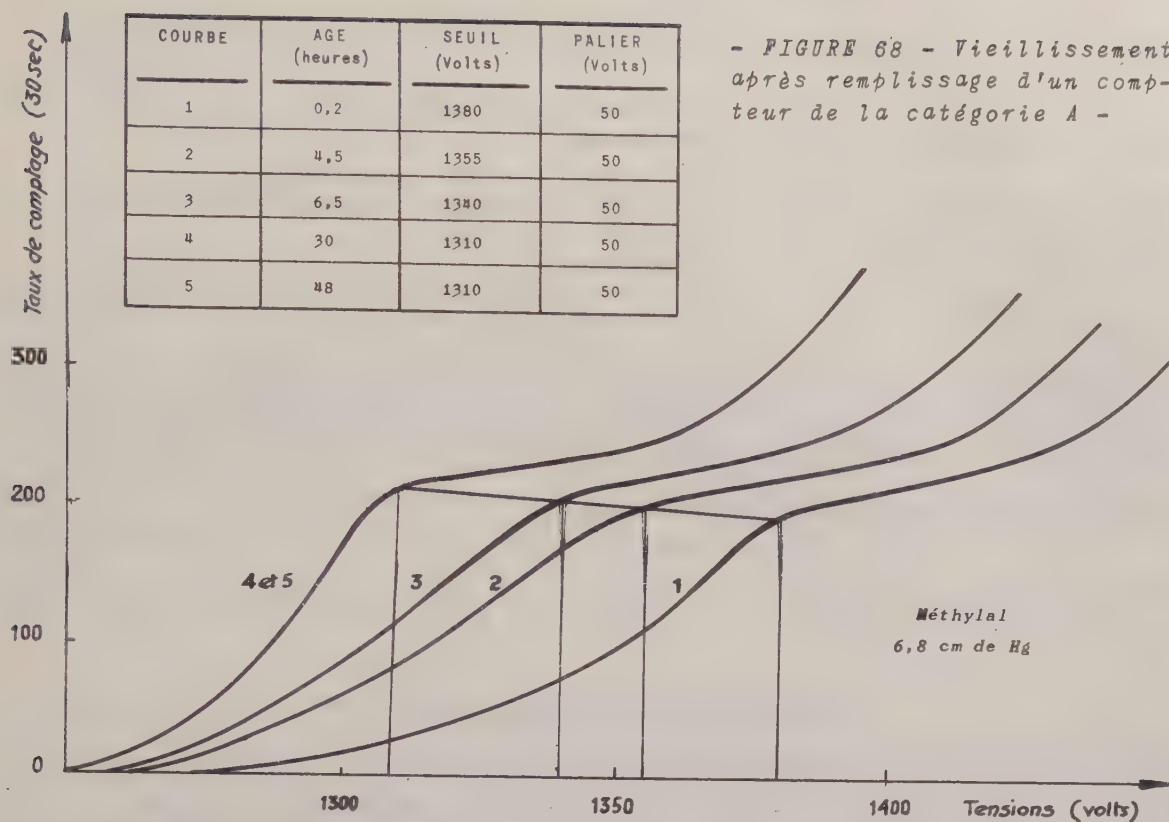


FIGURE 69 - Vieillissement après remplissage d'un compteur de la catégorie B (7,2 cm de Hg)

rempli sous la pression de 7,2 cm de mercure. D'une façon générale :

1 - Le palier se forme lentement, et la caractéristique limite n'est atteinte qu'au bout de plusieurs jours.

2 - Le seuil du palier, après sa formation, diminue progressivement, le glissement allant de 50 à 100 volts.

Il est difficile d'utiliser les courbes données ici pour évaluer de façon précise la variation de pression à l'intérieur du compteur étant données les fluctuations statistiques des seuils. La diminution serait de l'ordre de 0,45 à 0,9 cm de mercure. Il est probable qu'à l'adsorption proprement dite s'ajoute une absorption en profondeur du méthylal dans le verre, fait à rapprocher des résultats obtenus par M. GRENON (61).

Vieillissement après chauffage - (compteurs de la catégorie A) -

S'il existe sur la cathode un film de constituant polyatomique, le chauffage du compteur doit tendre à le faire disparaître; après retour à la température ambiante, la pression du gaz, c'est à dire le seuil du

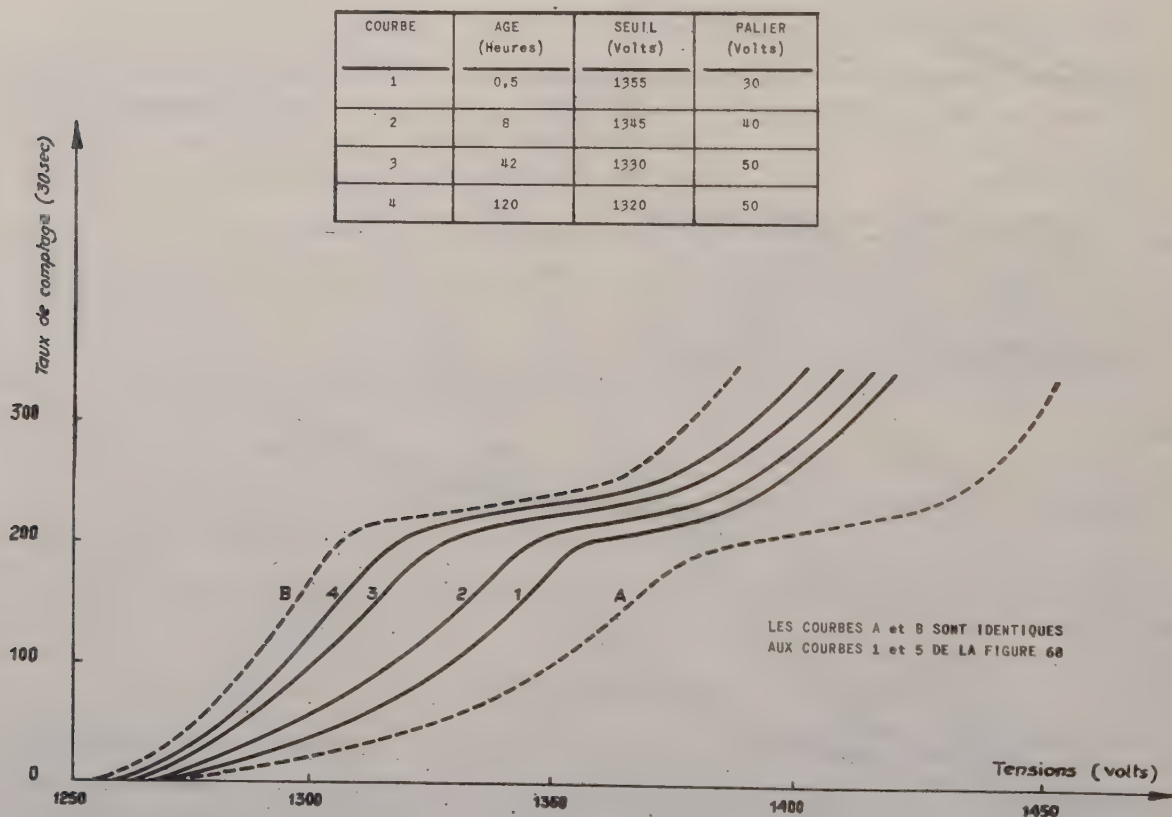


FIGURE 70 - Vieillissement du compteur de la catégorie A, après chauffage

palier, doit revenir à sa valeur initiale au moment du remplissage. Après chauffage à 200° C durant 15 à 20 minutes, il y a effectivement une remontée du palier, suivie d'un abaissement progressif du seuil (voir la figure 70).

Il faut cependant noter que :

1 - Le chauffage n'a pas permis de revenir à la caractéristique initiale du compteur.

2 - La caractéristique limite atteinte après chauffage est la même que celle obtenue par vieillissement à la température ambiante, mais le phénomène est beaucoup plus lent.

Les faits décrits ne peuvent s'expliquer entièrement par la disparition (partielle ou complète) du méthylal sur les parois. Comme je le montrerai plus loin, le coefficient thermique des remplissages de méthylal pur montre que, au dessus d'une température de l'ordre de 100° C, a lieu un dégagement de vapeur d'eau depuis les parois, ce qui a pour effet de modifier la caractéristique.

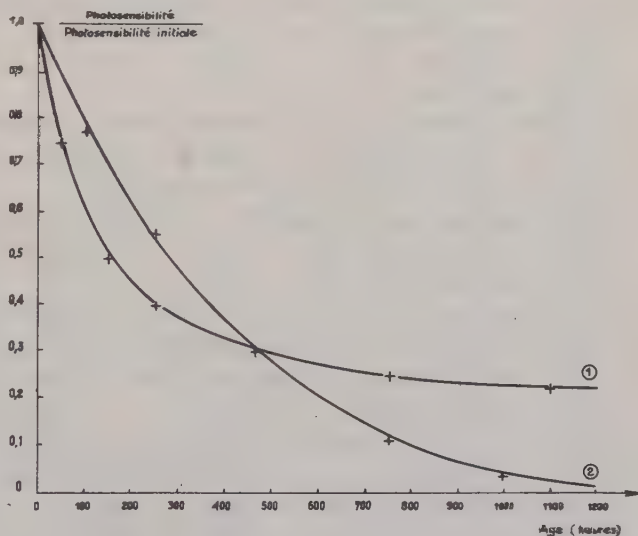
2 - Evolution de la photosensibilité -

Elle varie beaucoup d'un compteur à l'autre, et il est difficile de donner un résultat quantitatif général.

Quelle que soit la nature du remplissage, les compteurs à coque de verre sont photosensibles après remplissage. La photosensibilité forte initialement, diminue progressivement et assez lentement, pour tendre vers une valeur limite ou vers zéro.

La figure 71 illustre deux exemples caractéristiques, pour des compteurs de la catégorie A. Courbe (1) : pression de 3 cm de mercure, $a = 0,1$ mm, $b = 2$ cm, $L = 13$ cm. Courbe (2) : pression de 4,9 cm de mercure, $a = 0,1$ mm, $b = 2$ cm, $L = 10$ cm.

H. SCHWARZ (49), (50) qui constate la forte sensibilité initiale de compteurs non étuvés, ne signale pas sa variation en fonction du temps. Cette évolution est attribuable à une augmentation du travail d'extraction de la cathode liée à la formation progressive d'un film de méthylal.



- FIGURE 71 -

Σ

Evolution dans le temps de la photosensibilité des compteurs non étuvés.

COEFFICIENT DE TEMPERATURE DES COMPTEURS AUTOCOPEURS

Introduction -

Aucune étude de cet ordre n'avait, jusqu'ici été faite sur les compteurs à cathode externe. Les considérations suivantes s'imposent :

1 - Au dessous de la température ambiante, s'ajoutent à la condensation possible du constituant polyatomique les effets de la résistance du verre, alors très élevée. D'après la formule (5), V_G augmentera alors très rapidement en fonction de N_0 , inconvénient important pour l'utilisation de tels compteurs. L'emploi de verre très conducteur est alors nécessaire.

2 - Au dessus de la température ambiante, par contre, la variation de la résistivité du verre (figure 36) montre que V_G devient pratiquement indépendant de N_0 , ce qui améliore les performances. D'autre part, la simplicité mécanique et la robustesse de ces compteurs les adaptent particulièrement à être utilisés à température élevée. Cette étude a été faite dans ce domaine.

L'intérêt pratique d'une telle recherche est important, les réalisations de compteurs pour températures élevées étant peu nombreuses et conduisant à des solutions compliquées, (171).

Du point de vue physique, les recherches antérieures concernant les compteurs autocoqueurs à cathode interne conduisent à des résultats contradictoires. Il existe un certain nombre de publications sur cette question :

- M. JEZEWSKI et M. MIESOWICZ (1940), (133).
- S.A.KORFF, W.D.B. SPATZ et N. HILBERRY (1942), (172)
- G. JOYET et M. SIMON (1947), (173)
- OM PARKASH (1949), (174)
- OM PARKASH (1950), (60)
- OM PARKASH et P.L. KAPUR (1950), (175)
- W.R. LOOSEMORE et D. TAYLOR (1950), (176)
- M. KIMURA (1950), (177), (178)
- M. SONODA et K. KIMURA (1950), (179)
- G. FUJIOKA, I. KITA et O. MINAKAWA (1950), (180)
- O. STANISZ (1951), (181)
- A. DAUDIN et J. DAUDIN (1951), (182), (215)
- C. CASTAGNOLI, G. CREA et A. GIGLI (1952), (183)
- R. SEIDL et F. ROUBINEK (1952), (184)
- R. SEIDL (1952), (185)
- C.P. JOSHI (1953), (186)
- K. GROTOWSKI, A.Z. HRYNKIEWICZ et H. NIEWODNICZANSKI, (1953), (187)
- J.H. MADER (1954), (188)
- R. MEUNIER et alii (1955), (189).

L'étude systématique de ces articles serait fastidieuse et les résultats les plus importants sont résumés dans le tableau XIX.

TABLEAU XIX

AUTEURS	KORFF SPATZ HILBERRY	JOYET SIMON	PARKASH	PARKASH KAPUR	LOOSEMORE TAYLOR	FUJIOKA KITA NINAKAWA	LOOSEMORE TAYLOR	STANISZ	CREA CASTAGNO- LI GIGLI	SEIDL	JOSHI	MADER	MEUNIER BOMPAS LEGRAND
REFERENCES	(172)	(173)	(174)	(175)	(176)	(180)	(176)	(181)	(183)	(185)	(186)	(188)	(189)
Zone de températures	-22, +55	+5, +45	+20, +180	+8, +60	+15, +100	+15, +170	+15, +100	-22, +60	-15, +100	0, +40	+25, +80	+20, +110	0, +200
Nature de la cathode	Métal non précisé	Aluminium	Cu oxydé	Cathode Externe	Carbone interne	Cuivre	Cuivre	Laiton	Métal non précisé	Dural	Cuivre	Cuivre recouvert de C	Al, Mo, Ta, Ni, Bi, Cu, Fe, Ag
Remplissage cm de Hg	Alcool Argon	Alcool Argon	Alcool 15 Argon 8,5	Alcool Argon	Alcool Argon	Alcool 1 Argon 9	Alcool Argon	Alcool 0,8 Argon 9	Alcool 0,8 Argon 9	Méthylal 1,5 Argon 8,5	Ether de pétrole 2 Argon 7	Alcool 1,5 Argon 8,5	Méta, para xylène sa- turé Argon (10,30)
Coefficient de tem- pérature (volt/dégré)	Nul au dessus de 0°C	+ 14	Sensibl. +0,17	Semble négligif > 9°C	+9 entre +15 & +50	Nul	+1,50 entre 15° & 80°	Nul	0 > 15°C +28 < 15°C	Nul	+ 2,1	Variation paraboli- que du seuil	17 à 30 < 60° +0, > 60°
Sens de variation de la pente avec la tem- pérature	pas indiqué	↗	↗	↗	↗	+18° +105° tempér. critique	↗ 7 5 ↗ 15 100	↗	non précisé	↗	↗	↗ T ₀ (70°C)	↗
Sens de variation de la longueur du palier avec la température	0 ↘ -22	↗	↗	↗	↗	↗ tempér. critique	↗	↗	+ 6 ↗ -15 +100	non précisé	↗	↗ T ₀ (70°C)	↗
traitement thermique préliminaire	pas indiqué	pas d'étuvage	pas indiqué	pas d'étuvage	pas indiqué	chauff. à 400°C	pas indiqué	pas d'étuvage	pas indiqué	pompage sans étu- vage (araldite)	pompage sans étuvage	pas indiqué	pas indiqué
Nature des parois externes	pas indiqué	Aluminium	pas indiqué	Verre "Novo"	Pas indiqué	Verre dur type Pyrex	pas indiqué	Laiton & verre	Métal	Verre lana Nor- malglass 16/ftl	Verre	Laiton isolant : céramique	Verre dur type Mo- ly ou ver- re Novo

Seuls O. PARKASH et P.L. KAPUR (60), (175) ont étudié les compteurs à coque de verre au dessus de la température ambiante (jusqu'à 60° C) sur un remplissage argon-alcool classique : le coefficient de température, très faible, n'a pas été mesuré. A. et J. DAUDIN (182) notent le bon fonctionnement de compteurs Novo contenant un remplissage argon-méthylal à -18° C, pour le rayonnement cosmique.

Pour obtenir des résultats aussi généraux que possible, j'ai étudié simultanément des compteurs à coque de verre et des compteurs classiques à cathode interne.

Dispositif expérimental -

Les compteurs (verre Novo) ont été pompés durant 3 heures avant remplissage, sous la pression de 0,1 micron de mercure, **sans étuvage** : l'étuvage, qui brise les couches polymoléculaires d'eau existant sur la surface du verre, modifie profondément le seuil photoélectrique et introduit des effets incontrôlables sur la caractéristique de comptage à la température ambiante (voir page 27).

Les compteurs sont placés dans une étuve à résistances, donnant toutes les températures entre 20° C et 240° C à 0,5° C près. L'armature métallique de l'étuve sert de blindage; le fil de jonction au préamplificateur est un câble coaxial isolé par de la laine de verre : il résiste parfaitement à 250° C.

Le seuil du circuit associé est de 0,8 volt. Cette valeur est un peu élevée pour l'étude de remplissages de vapeur pure, mais les défauts possibles d'isolement du câble coaxial, sources de petites impulsions parasites n'ont ainsi aucune influence : l'oscillographe cathodique montre que, au dessus de 200° C existent de très faibles impulsions venant de ce fil, dûes, semble-t-il, à la faible conductibilité de la laine de verre, à ces températures.

1. - Compteurs à coque de verre (190) -

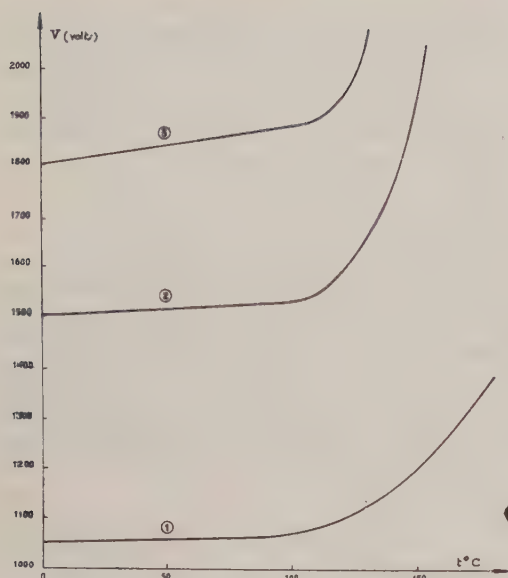
1. Remplissage contenant du méthylal : mélanges autocoupeurs classiques et vapeur pure.

A. - RESULTATS EXPERIMENTAUX -

a) *Seuil du palier* - La variation thermique du seuil V_P , quel que soit le remplissage, a l'allure donnée par la figure 72.

La variation est linéaire jusqu'à une température t_0 au dessous de laquelle le coefficient de température c_0 (volts par degré) est constant. Au dessus de t_0 , la courbe est une parabole. En prenant 20° C comme température de référence :

$$t \leq t_0 \quad V_P^t - V_P^{20} = c_0 (t - 20)$$



$$t > t_0 \quad V_P^t - V_P^{t_0} = c_0(t - t_0) + c_1(t - t_0)^2 \quad (29)$$

$$\text{ou} \quad V_P^t - V_P^{20} = c_0(t - 20) + c_1(t - 20)^2$$

La variation de c_0 en fonction de la pression P_V de la vapeur organique est donnée dans le tableau XX et la figure 73. La courbe est une droite passant par l'origine. P_V étant exprimée en cm de mercure :

$$c_0 = 0,16 \cdot P_V \text{ (volts/degré)} \quad (30)$$

FIGURE 72 - Variation thermique du seuil V_P
 (1) Méthylal : 1 cm de Hg + Argon : 10,6 cm de Hg - (2) Méthylal pur : 2,3 cm de Hg -
 (3) Méthylal pur : 5,4 cm de Hg

TABLEAU XX

METHYLAL cm Hg	Argon cm Hg	c_0 (volt/degré)	t_0 C	NOMBRE DE COMPTÉURS
1,0	10,6	0,15	90 ± 8	4
1,3	8,3	0,23	95 ± 8	3
2,3	0	0,32	102 ± 6	4
3,5	0	0,56	105 ± 5	2
5,0	0	0,77	100 ± 5	3
5,4	0	0,85	107 ± 5	4

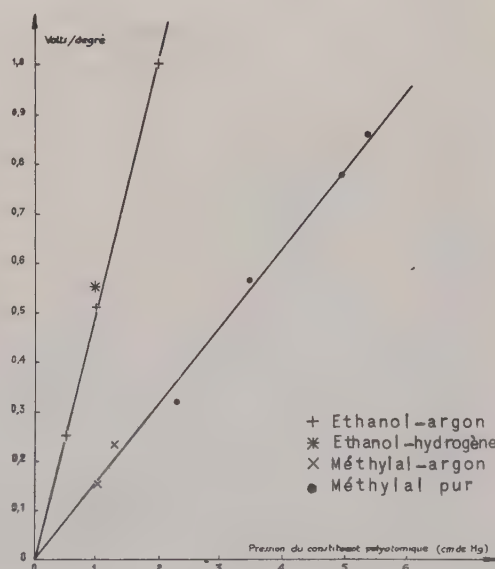
En conclusion :

1 - c_0 ne dépend pas de la géométrie du compteur ($1 \text{ cm} \leq b \leq 3 \text{ cm}$, $5 \text{ cm} \leq L \leq 25 \text{ cm}$, $a = 0,1 \text{ mm}$).

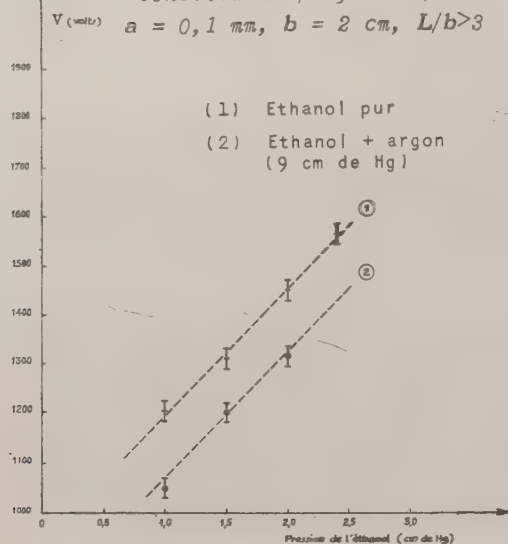
2 - c_0 est indépendant de la pression de l'argon.

3 - Sur la figure 73 le raccordement des remplissages autocoupeurs classiques avec ceux de vapeur pure est parfait, $\Delta V_P = f(\Delta P)$ étant sensible, essentiellement, aux variations de la pression du constituant polyatomique : la figure 74 relative à $b = 2 \text{ cm}$ et $b/a = 200$ traduit ce phénomène pour l'éthanol pur et des remplissages éthanol + argon (9 cm de mercure).

- FIGURE 73 - $c_0 = f(P_V)$ pour vapeur pure et mélanges autocoupeurs classiques -



- FIGURE 74 - Variation de V_p
en fonction de la pression du
constituant polyatomique
 $a = 0,1 \text{ mm}$, $b = 2 \text{ cm}$, $L/b > 3$

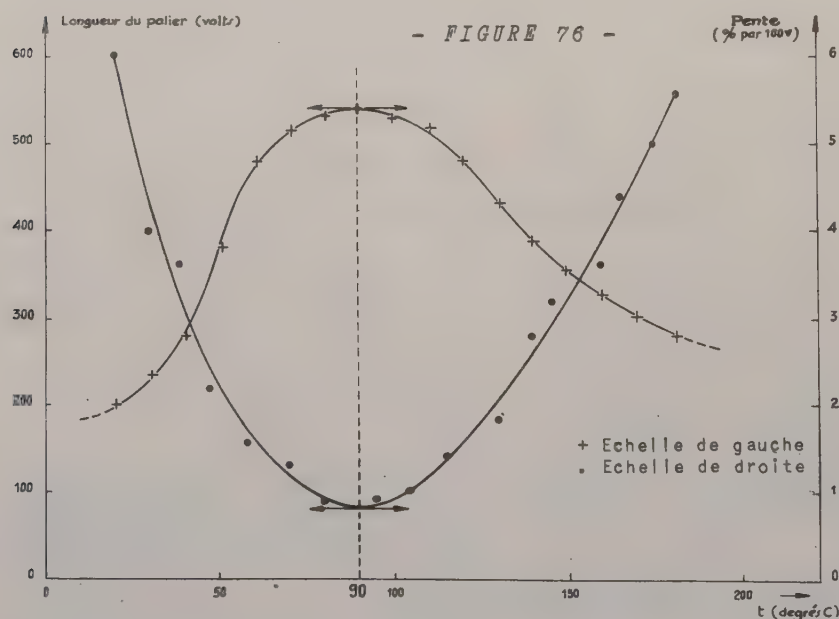
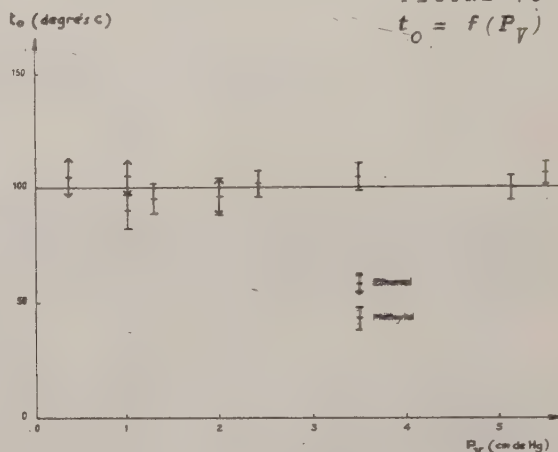


1 - La pente est d'abord décroissante en fonction de la température elle passe par un minimum pour devenir croissante, sa valeur à 180°C étant inférieure à celle à 20°C . Le minimum dépend du compteur sa valeur moyenne étant de 1% par

Les valeurs de t_0 portées dans le tableau XX, ont été déterminées graphiquement par raccordement de la droite et de la parabole. La figure 75 donne $t_0 = f(P_V)$: aux erreurs expérimentales près, t_0 est indépendante de P_V .

b) Longueur et pente du palier des mélanges méthylal-argon. Les valeurs numériques varient d'un compteur à l'autre mais les conclusions générales suivantes se dégagent :

- FIGURE 75 -
 $t_0 = f(P_V)$



100 volts sous irradiation faible (figure 76)
2- La longueur de palier, par contre, est croissante, passe par un maximum puis décroît, sa valeur à 180°C étant supérieure à celle à 20°C . La longueur maximum du palier est de l'ordre de 550 volts sous irradiation faible (figure 76)

3 - Les températures correspondant au minimum de la pente et au maximum de la longueur de palier coïncident (figure 76), et sont égales à t_0 aux erreurs expérimentales près.

En particulier, pour :

$$\begin{aligned} P_V &= 1 \text{ cm de Hg, température optimum} = 90 \pm 5^\circ \text{ C} \\ &= 1,3 \text{ cm de Hg, température optimum} = 100 \pm 5^\circ \text{ C} \end{aligned}$$

c) Longueur et pente du palier pour les remplissages de méthylal pur. Le mécanisme est différent, et les phénomènes sont inversés : la pente augmente d'abord, passe par un maximum puis diminue, alors que la longueur du palier diminue, passe par un minimum puis augmente. Les températures du maximum et du minimum coïncident et sont égales à t_0 aux erreurs expérimentales près :

$$\begin{aligned} P_V &= 2,3 \text{ cm de Hg, température maximum} = 105 \pm 5^\circ \\ V &= 3,5 &= 90 \pm 10^\circ \\ &= 5,0 &= 95 \pm 10^\circ \\ &= 5,4 &= 95 \pm 10^\circ \end{aligned}$$

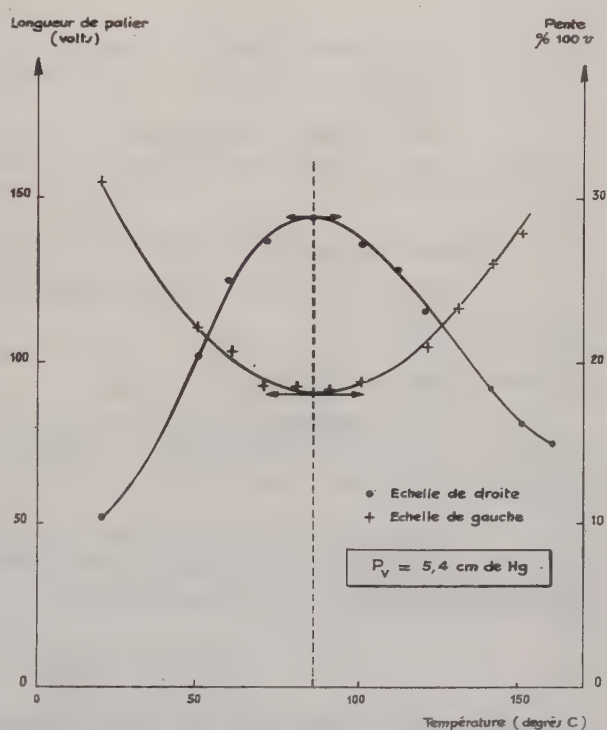
A titre d'exemple, la figure 77 donne les résultats obtenus pour $P_V = 5,4$ cm de mercure, $a = 0,1$ mm, $b = 2$ cm et $L = 10$ cm.

B. - INTERPRÉTATION DES RESULTATS

a) Au dessous de t_0 , la courbe $c_0 = f(P_V)$ passe par l'origine : le méthylal seul explique ce coefficient. La variation linéaire de V_p avec la température montre qu'il y a un dégagement régulier de méthylal depuis la paroi de verre, l'adsorption de l'argon, peu considérable, n'ayant aucun effet. Les études antérieures concernant le comportement en température des compteurs non autocoupeurs (hydrogène, air argon pur) confirment que les seuils n'augmentent pas avec la température (191), (192). Dans certains cas, ils semblent même diminuer (193), (194).

b) Au dessus de t_0 , intervient l'effet supplémentaire ; c) dépend de P_V et de la géométrie du compteur.

A titre d'exemple pour $a = 0,1$ mm



- FIGURE 77 - Pente et longueur du palier en fonction de la température $P_V = 5,4$ cm Hg
 $a = 0,1$ mm, $b = 2$ cm -
 $L = 10$ cm

et $b = 2$ cm :

$$\begin{array}{ll}
 P_V = 1,3 \text{ cm de Hg} & c_1 \text{ (volt/deg}^2\text{)} = 0,09 \\
 = 2,5 & = 0,15 \\
 = 5,4 & = 0,25
 \end{array}$$

Cet effet est dû à un dégagement progressif de vapeur d'eau depuis la paroi de verre. L'influence de la vapeur d'eau serait :

1 - D'augmenter rapidement V_P en fonction de t . M. GRENON (61) étuvait des compteurs pour éliminer l'eau adsorbée, puis les remplissait d'un mélange argon-alcool classique, additionné de vapeur d'eau sous la pression de 5 mm de mercure : à la température ambiante, le seuil initial était de 2000 volts, le palier revenant ensuite très lentement à la normale par réadsorption progressive de l'eau sur les parois. D'après ces résultats, la tension de vapeur d'eau dégagée ici serait de plusieurs mm de Hg au dessus de 200° C.

2 - De détériorer progressivement le palier des remplissages argon-méthylal au dessus de t_0 . Le rôle néfaste de la vapeur d'eau, source d'ions négatifs, est bien connu (53).

3 - L'effet observé dans le cas des compteurs à vapeur pure est plus difficile à interpréter. Il est possible qu'il intervienne une action chimique, due à la vapeur d'eau dégagée par le verre.

Un composé thermiquement plus stable que le méthylal est intéressant à étudier : j'ai choisi l'éthanol.

2. Remplissages contenant de l'éthanol -

Seuls ont été expérimentés des remplissages argon + éthanol et hydrogène + éthanol.

A. -SEUIL DU PALIER -

La variation est identique à celle observée dans le cas du méthylal, la courbe devenant une parabole au dessus d'une température t_0 égale à celle mesurée pour le méthylal (figure 72).

La variation de c_0 en fonction de P_V est donnée par le tableau XXI et la figure 73. La courbe est bien une droite passant par l'origine. P_V étant exprimée en cm de mercure :

$$c_0 = 0,50 P_V \text{ (volts/deg}^2\text{)}$$

(31)

Ethanol cm Hg	Argon cm Hg	Hydrogène cm Hg	c_0 volts/deg ²	t_0	Nombre de compt. étudiés
0,5	4,5		0,25	105 ± 8	2
1,0	9,0		0,51	105 ± 8	5
2,0	7,7		1,00	95 ± 8	2
1,0		9,7	0,55	105 ± 8	2

TABLEAU XXI

Ces résultats confirment que c_0 ne dépend pas de la géométrie du compteur, et non seulement de la pression, mais aussi de la nature du gaz permanent.

Les valeurs de t_0 portées dans le tableau XXI ont été déterminées graphiquement, ce qui introduit une erreur voisine de 8%. Sur la figure 75, on voit que t_0 est indépendante de P_V et de la nature du gaz permanent, ce qui confirme que cet effet est bien dû à un dégagement de vapeur d'eau depuis les parois.

B.-LONGUEUR ET PENTE DU PALIER.

La conclusion est la même que dans le cas des mélanges méthylal-argon :

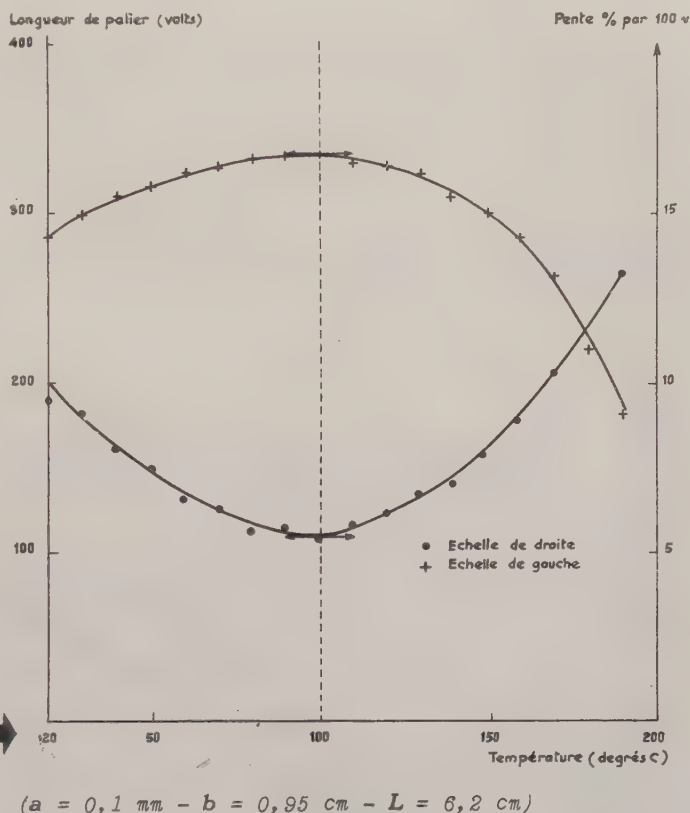
1 - La pente passe par un minimum pour une température égale à t_0 aux erreurs expérimentales près.

2 - La longueur du palier passe par un maximum pour cette même température.

La figure 78 donne les résultats obtenus pour un compteur de $a = 0,1$ mm, $b = 0,95$ cm, $L = 6,2$ cm contenant : éthanol 0,5 cm de Hg + argon 4,5 cm de mercure.

- FIGURE 78 -

Pente et longueur du palier en fonction de la température pour éthanol 0,5 cm de Hg + Argon 4,5 cm de Hg



2.- Compteurs à cathode interne -

Il est intéressant de comparer les résultats qui précèdent à ceux correspondant à des compteurs du type classique. J'ai utilisé des compteurs industriels de qualité éprouvée (103).

1. Remplissage contenant une vapeur organique -

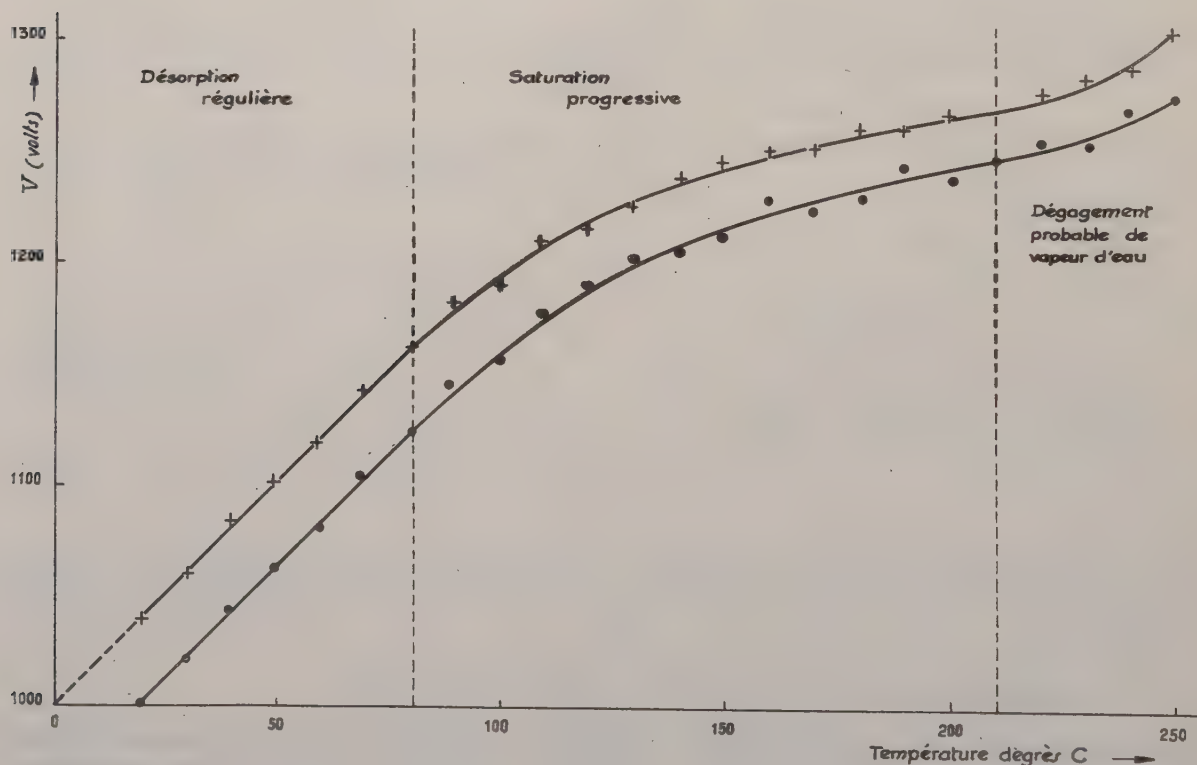
A - ARGON : 9 cm DE MERCURE + ETHANOL 1 cm DE MERCURE. Une série de compteurs du modèle M-6 (voir le tableau IV) a été étudiée dans les mêmes conditions que les compteurs à coque de verre.

a) Coefficient de température (Figure 79) -

1- Jusqu'à 80°C environ, la variation du seuil est linéaire, c_0 étant de l'ordre de 2 volts par degré.

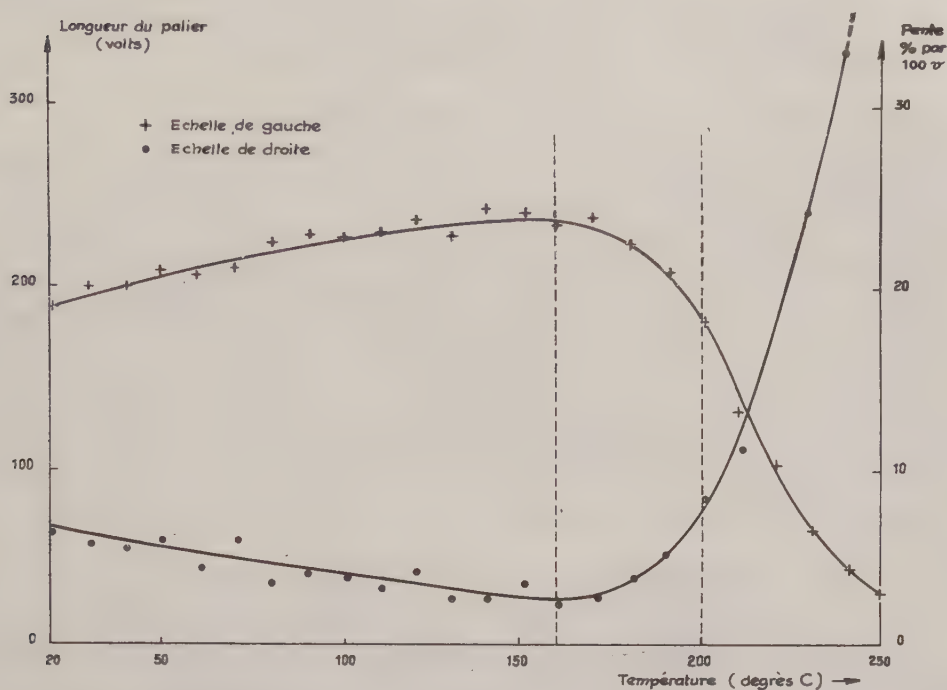
2 - Au dessus de cette température, la variation du seuil est beaucoup moins rapide, la plus grande partie de l'éthanol adsorbé sur les parois étant passé à l'état de vapeur. Ce phénomène se manifeste jusqu'à 210°C environ. Un effet thermoionique sensible a lieu au dessus de 160°. Après chauffage à une température inférieure à 210° et refroidissement à la température ambiante, le compteur reprend rapidement sa caractéristique initiale: il n'y a donc aucune décomposition du constituant polyatomique. Ces résultats s'accordent avec les expériences de W.R. LOOSEMORE et D. TAYLOR (176).

3 - Au dessus de 210°C, il se produit une détérioration rapide du palier, accompagnée d'une augmentation considérable de l'effet thermoionique. Le seuil varie de façon parabolique en fonction de la température. Ces phénomènes sont à rapprocher de ceux observés au dessus de t_0 dans les compteurs à cathode externe. Après refroidissement à la température ambiante, le seuil reste beaucoup plus élevé qu'initialement, le compteur ne revenant que très lentement vers sa caractéristique initiale. Ce phénomène peut s'expliquer par un dégagement de vapeur d'eau depuis les parois, car la coque du compteur est en verre.



- FIGURE 79 - Variation de V_p et V_g en fonction de la température, pour un compteur type M-6 (cathode interne de C).
Ethanol : 1 cm de Hg + argon : 9 cm de Hg

- FIGURE 80 - Pente et longueur du palier en fonction de la température
Compteur type M-6 (cathode interne de carbone)
Ethanol : 1 cm de Hg + argon : 9 cm de Hg



b) Pente et longueur du palier (figure 80) -

Là encore, trois zones sont à distinguer.:

1 - Au dessous de 160°, la longueur du palier augmente avec la température, en même temps que la pente diminue, comme dans le cas des compteurs à graphitage externe. Ces résultats s'accordent avec les expériences de G. FUJIOKA et alii (180).

2 - Entre 160° et 210°, l'effet thermoionique se manifeste de façon sensible et les qualités de comptage s'altèrent lentement.

3 - Au dessus de 210°, s'ajoute à l'émission thermoionique l'effet supplémentaire décrit plus haut: la longueur du palier tend rapidement vers zéro.

c) En conclusion, ces expériences confirment que, pour les températures étudiées, l'élévation de température n'altère pas les qualités d'un compteur. Des effets parasites extérieurs au mécanisme de la décharge (émission thermoionique, dégagement de vapeur d'eau, etc ...) expliquent la détérioration du palier. Il semble qu'il n'y ait pas de décomposition thermique de l'éthanol.

B. - ARGON 9 cm DE MERCURE + FORMIATE D'ETHYLE 1 cm DE MERCURE -

R.O.JENKINS et R.W.TAYLOR (195) préconisent le formiate d'éthyle pour son coefficient de température inférieur à celui de l'éthanol. Les compteurs étudiés sont du type G-26-Pb (103) : leur cathode est constituée d'un dépôt de plomb sur un cylindre de cuivre.

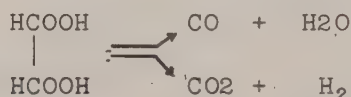
a) Coefficient de température (figure 81).

1 - Au dessous de 85° environ, le seuil varie linéairement en fonction de la température. $c_0 = 1,1$ volt par degré.

2 - Au dessus de 85°, la variation est plus rapide et ressemble à celle observée sur les compteurs à cathode externe au dessus de t_0 . Cet effet n'est plus, ici, explicable par l'émission de vapeur d'eau depuis les parois : en effet, après refroidissement, le seuil ne reprend plus sa valeur initiale, mais a subi une translation égale à sa variation entre 85° et la température maximum à laquelle a été porté le compteur (figure 81). Une décomposition chimique irréversible du formiate d'éthyle a eu lieu. Si de la vapeur d'eau s'est dégagée de la paroi de verre elle agit sur l'ester :



Pour ces températures, l'acide formique n'est pas stable (196) et se décompose en donnant :



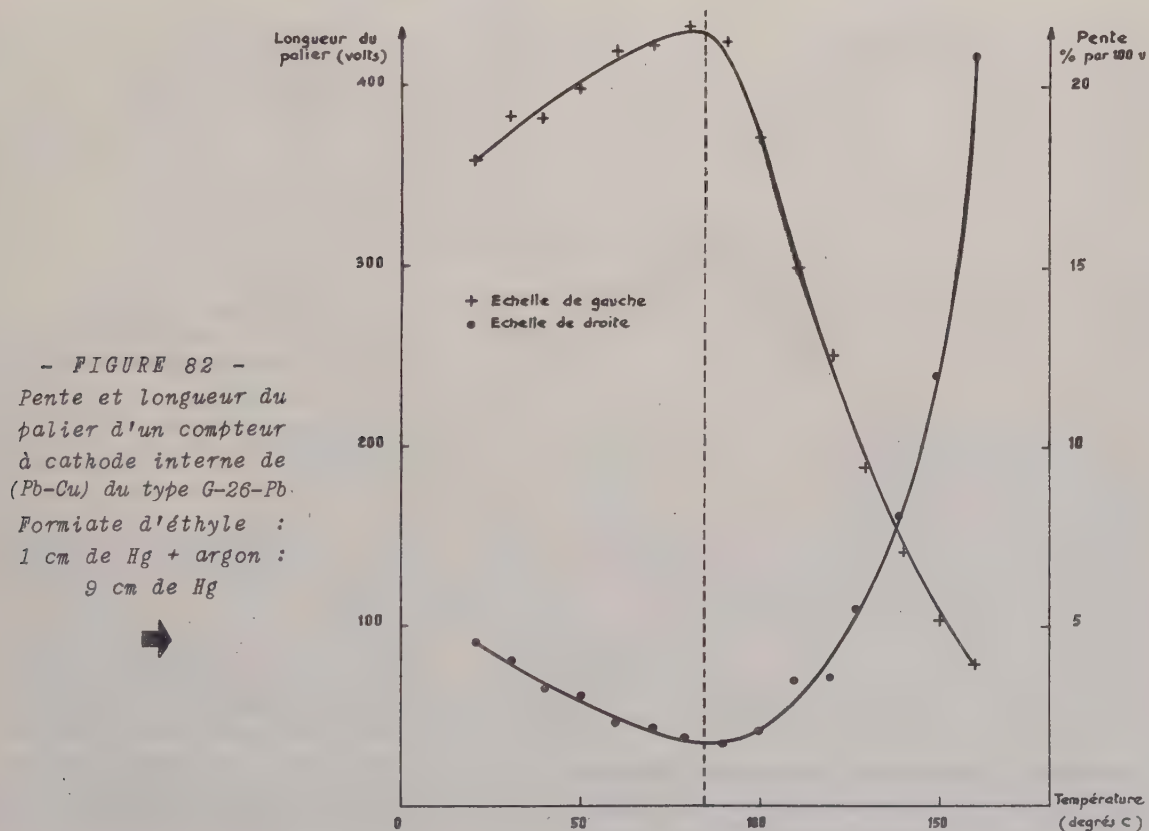
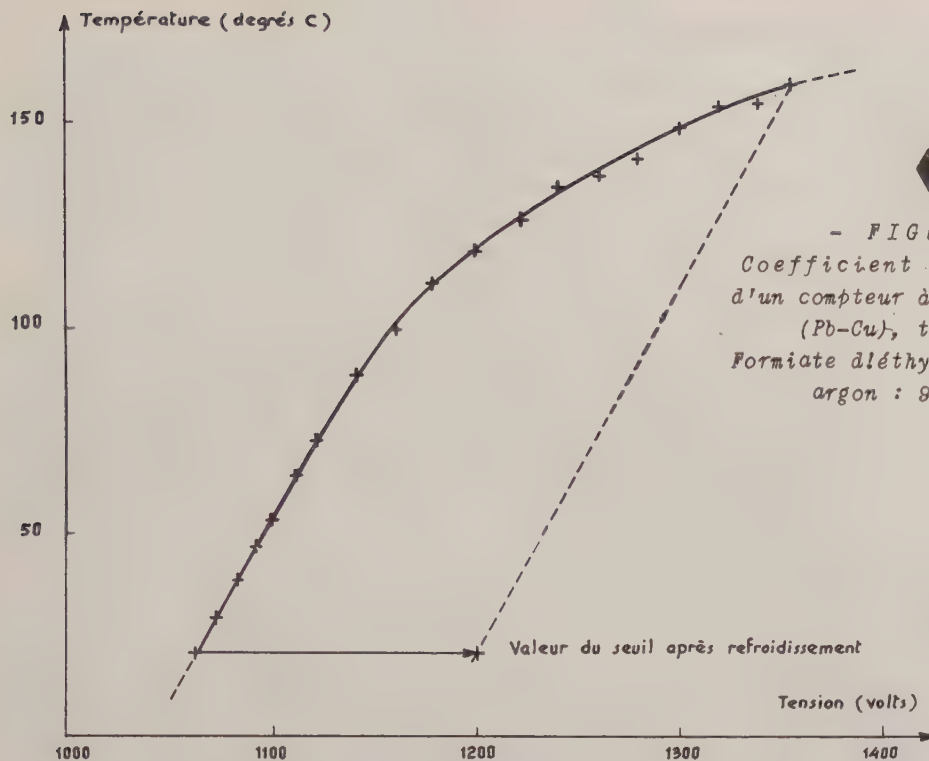
l'eau formée réagissant à son tour sur le formiate d'éthyle. Il en résulterait pour chaque température un équilibre complexe. L'oxyde de carbone et l'anhydride carbonique sont des sources d'ions négatifs, qui détériorent la caractéristique (86). Ils subsistent après refroidissement, ce qui explique la valeur plus élevée du seuil, et l'altération permanente du palier.

b) Pente et longueur du palier (figure 82) -

1 - Jusqu'à 85°, la pente diminue en même temps qu'augmente la longueur du palier.

2 - Au dessus de 85°, la détérioration du palier est rapide.

c) L'amélioration du palier par élévation de température est confirmée. La détérioration est due ici à une réaction chimique.



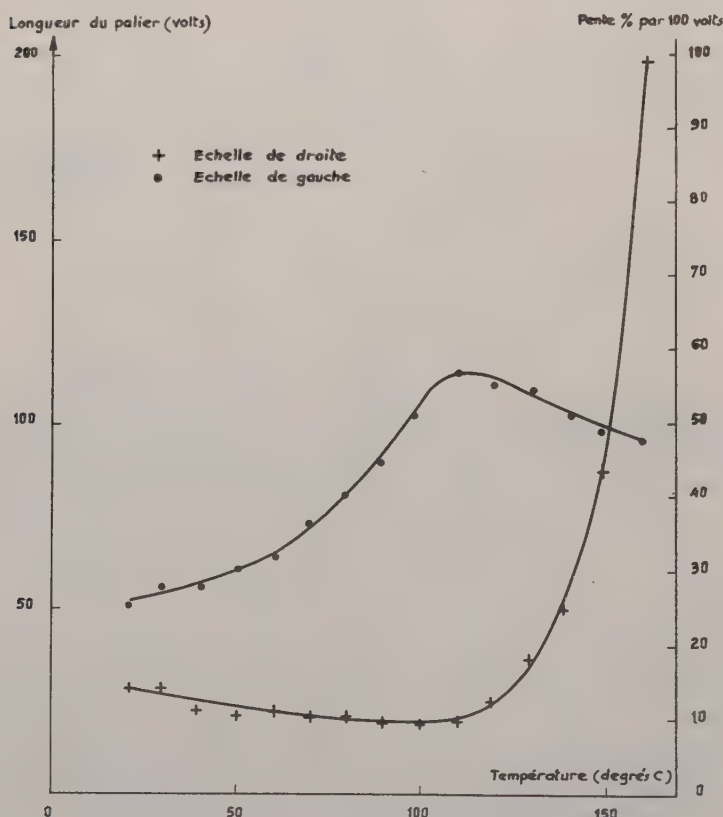
2. Remplissage contenant un halogène -

Les détecteurs de ce type ont un coefficient de température très faible et sont étudiés ici à titre comparatif. E. FRANKLIN et W.R. LOOSEMORE (197) obtiennent $c_0 = 0,20$ volt par degré entre -50° et $+40^\circ$ pour un remplissage au brôme. Dans des conditions voisines, G. GIMENEZ et J. LABEYRIE trouvent $c_0 = 0,5$ volt par degré entre -70° et $+130^\circ$ (198). Je donnerai ici deux exemples caractéristiques :

A - COMPTEUR TYPE G-24-H (103), $a = 0,127$ mm, $b = 1,7$ cm, $L = 22$ cm.

1 - $c_0 = 0,16$ volt par degré. La variation du seuil est linéaire jusqu'à la température maximum des expériences (160°). Il n'y a pas de détérioration permanente, le compteur reprenant sa caractéristique initiale après refroidissement. Une très légère diminution du seuil (10 volts) indique une faible attaque de la paroi par le brôme à température élevée.

2 - Un effet thermoionique marqué a lieu au dessus de 110° ; il s'accompagne d'une détérioration progressive du palier (figure 83).



- FIGURE 83 - Pente et longueur du palier en fonction de la température pour un compteur au brôme G-24-H

B - COMPTEUR H-C-4 de la C.S.F. (199), $a = 0,5$ mm, $b = 6,3$ mm, $L = 4$ cm.
(Voir la photographie VI).

c_0 est de $0,10$ volt par degré. Après chauffage à 160° la détérioration est permanente, le compteur rentrant directement en décharge continue. L'attaque du brôme est complète.

3. Effet thermoionique -

L'émission spontanée d'ions ou d'électrons depuis le cylindre se traduit par une augmentation du mouvement propre.

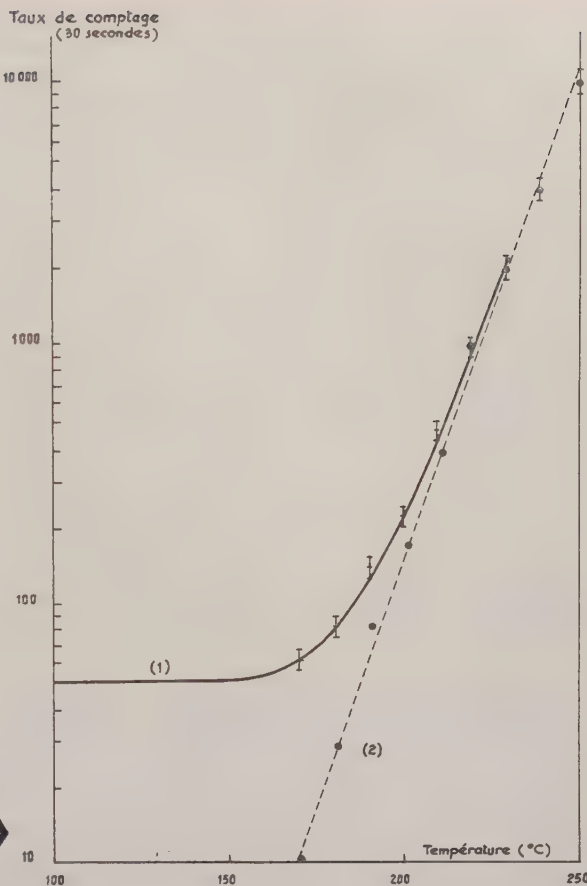
A - COMPTEURS A COQUE DE VERRE. Quels que soient la géométrie, la nature du verre et le remplissage le fond est constant jusqu'à 250°C . L'émission spontanée est donc négligeable, ce qui confirme la stabilité remarquable de la surface cathodique des compteurs de ce type.

B - CATHODE A CATHODE INTERNE -

Pour les divers compteurs précédemment étudiés, l'augmentation du fond commence à être sensible pour une température comprise entre 100° et 200° C. On trouvera, sur la figure 84, l'augmentation thermique du fond pour un compteur M-6. A la température ambiante, le fond est de $N_0 = 50$ impulsions pour 30 secondes. La variation du taux de comptage N avec la température est donnée par la courbe (1) La courbe (2) donne la variation de la différence $n = N - N_0$, égale à l'émission spontanée.

Ces résultats s'accordent avec les expériences antérieures de R. SEIDL (185), K. GROTOWSKI et alii (187), R. MEUNIER et alii (189).

- FIGURE 84 - Variation du taux de comptage avec la température pour le fond. Compteur à cathode interne de carbone type M-6



4. Etude dynamique des compteurs à coque de verre -

Un compteur n'est réellement utilisable dans une gamme étendue de températures que dans la mesure où une variation thermique rapide n'a aucun effet sur ses qualités.

M. KIMURA (177), (178), a constaté sur des compteurs à cathode métallique (fer, laiton, nickel, aluminium) qu'une variation rapide de température (2° par minute et plus) entraîne une augmentation considérable du fond (il est multiplié par plus de 50), le comptage ne redevenant normal qu'après plus de deux heures lorsque la température est maintenue constante. Il étudia des remplissages argon-éthanol, argon-éther et argon éthylène : l'effet existe dans tous les cas et provient d'une émission spontanée depuis la cathode.

Pour contrôler le fonctionnement des compteurs à coque de verre j'ai effectué deux séries d'expériences :

1. Le compteur est placé dans l'étuve, dont la température augmente d'une façon sensiblement linéaire en fonction du temps (2°5 par minute

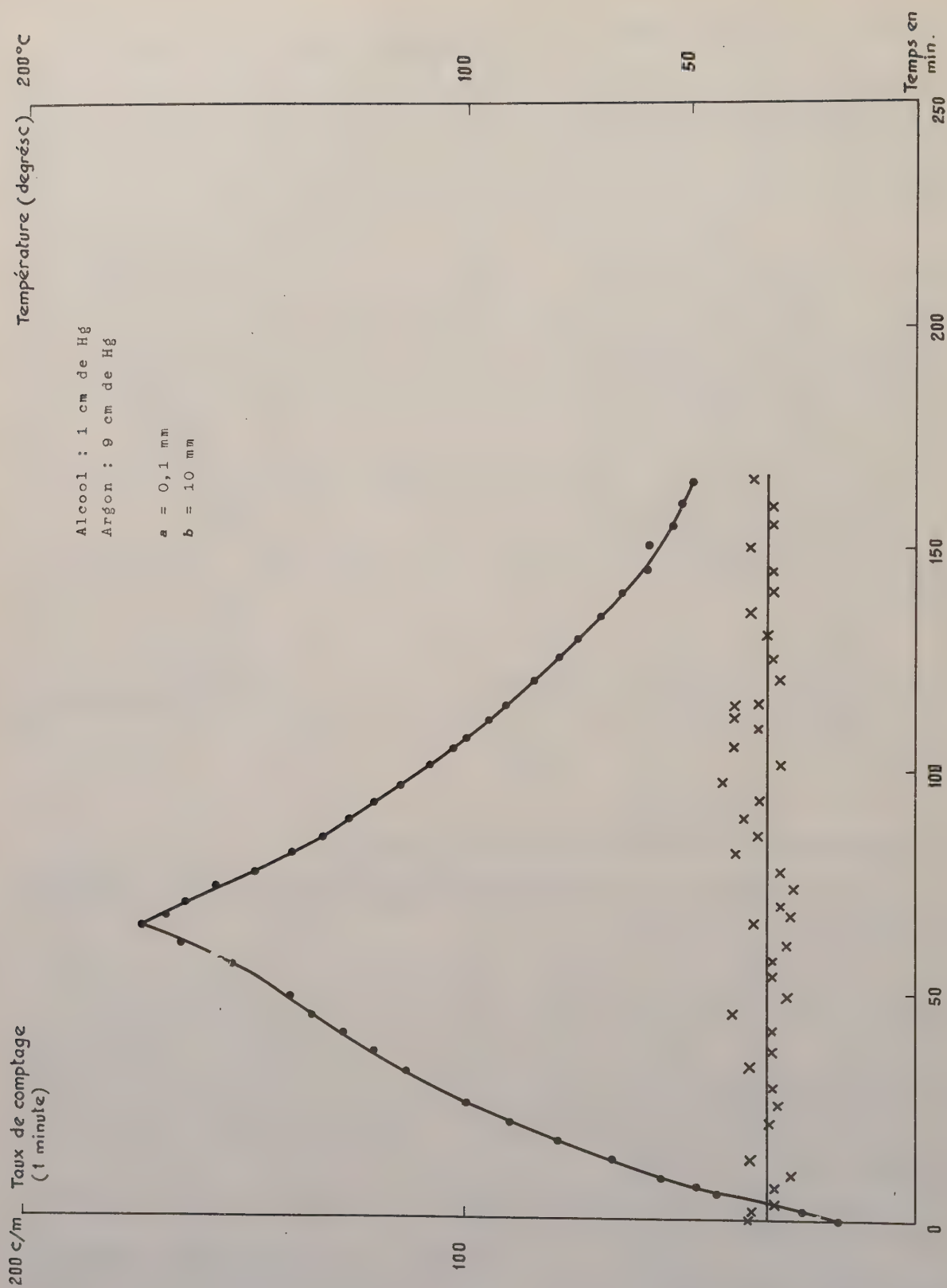


FIGURE 85

environ). Le fond est contrôlé de façon continue sur un enregistreur graphique à bande. La température ayant atteint une valeur comprise entre 150° et 180°C , on laisse l'étuve revenir à la température ambiante. Tous les compteurs étudiés plus haut ont été soumis à cet essai : dans aucun cas le phénomène décrit par KIMURA n'a été observé, et le fond reste parfaitement constant. La figure 85 donne un exemple des résultats obtenus.

2. Le compteur est introduit rapidement dans l'étuve, où règne une température constante (de 100° à 150°C). La variation thermique est brutale, mais le taux de comptage là encore, ne subit aucune perturbation.

En conclusion, ces essais confirment la grande stabilité de la surface cathodique de ces compteurs et l'intérêt de leur utilisation en température.

5 - Conclusion -

Cet ensemble d'expériences sur l'effet thermique des compteurs de Geiger-Muller se résume - quelle que soit leur nature - par les résultats généraux suivants :

1 - Le coefficient de température est proportionnel à la pression partielle du constituant polyatomique : il est donc dû à une désorption régulière de celui-ci depuis les parois.

2 - L'amélioration thermique de la caractéristique montre que l'effet néfaste d'ions négatifs venant du mercure présent en très faible proportion dans le remplissage est nul, contrairement à certaines hypothèses antérieures, (174), (186).

3 - La détérioration du compteur au dessus d'une certaine température critique est due - dans tous les cas - à un phénomène étranger à la décharge de TOWNSEND. Il peut être :

- **Réversible** : dégagement de vapeur d'eau depuis les parois ou effet thermoionique sur la cathode.

- **Irréversible** : réaction chimique à l'intérieur du remplissage (vapeur organique) ou sur les parois (halogène).

La complexité des phénomènes intervenant explique le désaccord apparent entre les résultats antérieurs, tel qu'il apparaît dans le tableau XIX.

CINQUIEME PARTIE

TEMPS DE VIE DES COMPTEURS A

GRAPHITAGE EXTERNE CONTENANT UNE VAPEUR

POLYATOMIQUE

ANALYSE DES RECHERCHES ANTERIEURES CONCERNANT LE TEMPS DE VIE DES COMPTEURS AUTOCOUPEURS

Le temps de vie d'un compteur est le nombre total d'impulsions qu'il peut subir sans détérioration complète. Cette définition est vague: la normalisation de l'I.R.E. (106) le définit comme le nombre total d'impulsions pour lequel le taux de comptage ne correspond plus à l'irradiation subie, compte tenu de la dispersion expérimentale. Je reviendrai plus loin sur cette définition. Le temps de vie est essentiellement lié à la taille des impulsions, et les paramètres dont il dépend sont les suivants:

- 1 - La nature du remplissage et, en particulier, la pression et la nature du constituant polyatomique,
- 2 - La géométrie du compteur,
- 3 - La surtension ($V - V_0$) d'utilisation,
- 4 - Le taux de comptage, si l'irradiation est assez intense pour que le temps mort puisse introduire des pertes notables: les impulsions cessent alors d'être de taille uniforme, et la taille moyenne est inférieure à celle qui correspond à une irradiation modérée.

Dans les expériences décrites ici, le taux de comptage d'expérimentation a été choisi de façon à ce que le facteur (4) soit négligeable: le temps de vie mesuré est alors une limite inférieure, pour la surtension utilisée.

I - COMPTEURS A CATHODE INTERNE

La presque totalité de la Bibliographie concerne des détecteurs de ce type.

1 - Remplissages autocoupeurs classiques -

A - Application de la théorie de S.A.KORFF et R.D.PRESENT (9) -

Basée uniquement sur des effets de décomposition de la vapeur polyatomique à l'intérieur du gaz, elle donne un ordre de grandeur de la vie. Un compteur de géométrie courante contient environ 10^{20} molécules organiques et, pour une surtension assez importante, le nombre d'ions polyatomiques détruits par décharge est de 10^{10} : il faudra donc 10^{10} coups pour que l'autocoupure cesse totalement. Ce nombre constitue une limite supérieure de la vie, car l'évaluation ne tient pas compte des molécules détruites dans la coupure des photons, bien que les molécules produites par dissociation puissent encore présenter les propriétés d'autocoupure. Il faut, d'autre part, un nombre minimum de molécules polyatomiques pour qu'il existe un palier sensible (98). On est conduit à prévoir une vie de 10^9 à 10^{10} coups.

B - Cas général -

Cette conclusion se vérifie de façon satisfaisante sur un grand nombre de vapeurs polyatomiques (alcools, aldéhydes, éthoxyéthane, acétate d'éthyle, etc...). Les premières recherches ont été faites par W.D.B. SPATZ (67) sur des mélanges d'argon (9,5 cm de mercure) et d'alcool (0,5 cm de mercure) : le temps de vie est de 10^9 à 10^{10} impulsions, pour une surtension de 60 volts. S.S. FRIEDLAND (200), (201) a étudié des mélanges d'argon (10 cm de mercure) et d'acétate d'éthyle (1,5 cm de mercure), en analysant régulièrement le gaz au spectrographe de masse : la vie maximum est de 10^{10} impulsions. F.W. BROWN, P.J. HARRIS et A.L. KLEIN (202) obtiennent des valeurs du même ordre sur l'alcool éthylique ($2 \cdot 10^9$), l'éthylène ($3 \cdot 10^9$), l'acétate d'amyle (10^{10}) et le 1-butène (10^{10}). Par contre, H. BERETTA et A.M. BIANCHI obtiennent des valeurs plus faibles (160) : 10^7 coups pour l'éther éthylique, $5 \cdot 10^8$ pour l'éthanol. Pour un mélange de méthylal (1,2 cm de mercure) et d'argon (36 cm de mercure), A. TROST (151) obtient une valeur supérieure à $4 \cdot 10^8$ impulsions pour une surtension de 50 volts. Dans un cas particulier : argon 12 cm de mercure + chlorure ou bromure de méthylène 1 à 2 mm de mercure, H. NEUERT et H. GUTHIER (203) trouvent $2 \cdot 10^8$, ce qui est en accord avec la théorie, la pression du constituant polyatomique étant faible.

Si le compteur est de petites dimensions, le nombre total de molécules polyatomiques qu'il contient est plus faible, donc le temps de vie plus court. C.V. ROBINSON et R.E. PETERSON (84) obtiennent 3 à $6 \cdot 10^7$ impulsions pour $b = 0,47$ cm, une surtension de 25 volts et un mélange argon (76 cm de mercure), éther éthylique (2,1 cm de mercure). W.DREBLOW et W.STREMME trouvent $3 \cdot 10^7$ impulsions pour $b = 0,5$ cm, $L = 2$ cm, $a = 0,1$ mm, une surtension de 50 volts et un mélange d'argon et d'hydrocarbure halogéné (85).

C - Cas particulier du méthane et de ses homologues supérieurs -

La théorie de S.A.KORFF et R.D.PRESENT ne tient pas compte des modifications superficielles possibles des électrodes. Des phénomènes de

ce genre ont lieu dans les remplissages contenant du méthane ou ses homologues supérieurs. La vie est de 10^7 à 10^8 coups, comme l'ont montré les travaux de W.B.D. SPATZ (67), S.S. FRIEDLAND (200), E.C. FARMER et S.C. BROWN (204), D. BLANC (23). Un dépôt de haut-polymères sur la cathode est responsable de la détérioration.

2 - Remplissages de vapeur pure -

Seules deux publications concernent cette question :

H.A. GLASSFORD et R.L. MACKLIN (140), utilisant du tétraméthylplomb sous la pression de 1,8 cm de mercure obtiennent une vie supérieure à 10^9 impulsions, pour une surtension de 100 à 200 volts.

A. TROST (151) donne quelques indications sur un remplissage de méthylal pur (3,2 cm de mercure), fonctionnant dans la région proportionnelle et note la stabilité en nombre d'impulsions.

3 - Essais d'amélioration du temps de vie -

Le cas des compteurs à halogène est exclu : leur vie - tout au moins en nombre d'impulsions - est très grande; voir (205).

A - Modification du circuit électronique -

J.L. PUTMAN (29), puis H. ELLIOT ont utilisé (206) des multivibrateurs, c'est à dire des circuits analogues à ceux de coupure externe : la propagation de la décharge le long du fil est stoppée, ce qui diminue le nombre total d'ions produit, et toutes les impulsions multiples sont éliminées. Le système ELLIOT permet de multiplier par trois la vie du compteur; de plus, un compteur usé peut ainsi fonctionner correctement.

J.A. SIMPSON (207) a proposé un circuit portant le fil à une tension négative immédiatement après formation de la décharge. Ce dispositif a été simplifié ultérieurement par C.W. SHERWIN (208) et A.L. HODSON (209).

Enfin, W.C. PORTER et W.E. RAMSEY (210) parviennent à limiter la décharge à un cm du fil dans un compteur long de 20 cm.

Ces dispositifs, qui rendent des services dans certaines applications, compliquent le circuit de comptage; ils sont cités ici pour mémoire.

B - Recherche de gaz ou vapeurs susceptibles de se régénérer au fur et à mesure de leur destruction -

S.A. KORFF et A.D. KRUMBEIN (211) expérimentèrent des compteurs à ammoniac pur (10 cm de mercure) ou additionné d'argon (15 cm de mercure

avec 80% d'ammoniac et 20% d'argon). Après 3.10^{10} impulsions, il n'y a pas d'altération du palier et du seuil. H.NEUERT et J.GEERK (157) ont établi le mécanisme de la reconstitution des molécules d'ammoniac. Malgré cet avantage, ces compteurs sont peu pratiques, leur palier étant de qualité médiocre. De plus, après un fonctionnement prolongé, le mouvement propre augmente, pour revenir à la normale après un repos de quelques instants.

4 - Conclusion -

Si on exclut les compteurs à halogène dont le temps de vie est remarquablement long, mais qui présentent un certain nombre de défauts (12), le compteur à vapeur organique reste la solution usuelle. La valeur globale de la vie moyenne est, comme on l'a vu plus haut, connue, mais deux points importants demandent à être précisés :

1 - L'évolution progressive en fonction du nombre d'impulsions de la caractéristique de palier est mal connue. Seuls W.C. ROESCH et S.S. REDDIE (212) donnent quelques indications quantitatives.

2 - La contribution à la détérioration des effets de paroi et des fragments de dissociation dans le gaz ont une importance relative mal déterminée. La seule publication relative à ce problème est de S.S.FRIEDLAND et H.S.KATZENSTEIN (213) : d'après eux, les impulsions parasites sont dues à des fragments de dissociation dans le gaz, alors que les modifications des hauteurs d'impulsions dépendent de l'état superficiel du cylindre et du fil.

II - COMPTEURS A COQUE DE VERRE

Ces détecteurs n'ont fait l'objet d'aucune étude, si ce n'est le travail de D. BLANC (23) sur des remplissages de méthane pur et de mélanges méthane-argon, pour lesquelles les effets de paroi sont prépondérants. R. FAVRE et C. HAENNY (31) signalent que le seuil du palier augmente avec le nombre d'impulsions subies, la vie étant de l'ordre de 10^8 impulsions. R.L. CHASSON et M.L. MAC-KNIGHT (214) donnent un maximum de 4.10^7 impulsions pour (éthylène + argon) et indiquent que la vie de ces mélanges (argon + alcool) dépasse 10^8 coups. Mais ils ne donnent aucun détail.

Ces compteurs ont un grand avantage : la théorie de leur fonctionnement établie plus haut montre que, dès que le taux de comptage atteint une valeur assez élevée, même pour une surtension extérieure assez grande, le compteur fonctionne pratiquement au seuil de Geiger : la taille des impulsions reste faible, ce qui doit accroître le temps de vie.

D'autre part, les remplissages de vapeur pure donnent des impulsions de petite taille, tendant à produire le même effet. Ils permettent aussi d'étudier de façon plus précise le rôle joué par la vapeur polyatomique dans la détérioration progressive du compteur.

C'est pourquoi j'ai étudié successivement les remplissages autocoupeurs classiques et les remplissages de vapeur pure.

REPLISSAGES AUTOCOUPEURS CLASSIQUES

Pour comparer les temps de vie, il est nécessaire de fixer des qualités "limites" de comptage. J'ai choisi les critères suivants, le compteur étant considéré comme usé lorsque n'importe lequel d'entre eux cesse d'être vérifié:

- 1 - Longueur de palier supérieure ou égale à 50 volts,
- 2 - Pente du palier inférieure ou égale à 20% par 100 volts,
- 3 - Pas d'augmentation sensible du mouvement propre.

Ces valeurs n'ont pas été choisies arbitrairement : elles correspondent aux qualités moyennes des détecteurs à halogène courants utilisés dans les appareils portatifs.

Les irradiations ont été faites à une surtension externe ΔV constante et le taux de comptage N est tel que l'intervalle de temps moyen entre deux impulsions successives soit nettement supérieur au temps de restitution; les impulsions sont alors de même amplitude que celles correspondant au mouvement propre (taux de comptage très faible). La surtension interne vraie $\Delta V'$ est donnée par la formule établie plus haut.

$$\Delta V = \Delta V' (1 + W N R_1)$$

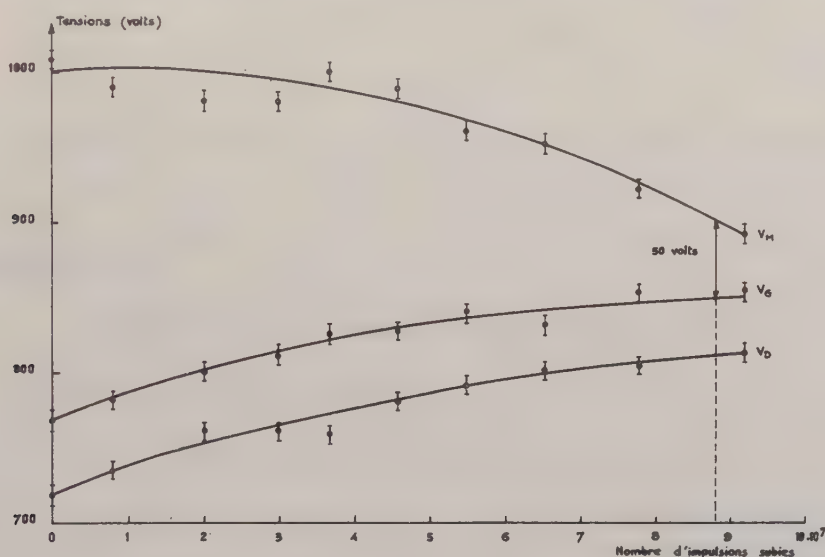
1 - COMPTEURS DE PETIT DIAMETRE

Deux séries de quatre compteurs en verre Novo ont été étudiées, les uns étant remplis d'un mélange d'argon (9 cm de mercure) et d'alcool (0,6 cm de mercure), les autres d'un mélange d'argon (4,8 cm de Hg) et de méthylal (0,6 cm de Hg). Le tableau XXII donne les résultats moyens obtenus.

Dans les deux cas, le temps de vie est limité par le critère de longueur de palier, bien que, dans certains cas, la pente dépasse 20% par 100 volts, sa valeur initiale étant, pour un compteur de petit diamètre, plus grande que pour les détecteurs de dimensions courantes (voir la figure 19).

La figure 86 donne la variation de V_D , V_G^0 et V_M pour un compteur rempli d'alcool (1 cm de mercure) et d'argon (9 cm de mercure). La figure 87 donne la variation de la pente et de la longueur du palier pour ce même compteur.

Pour ces deux remplissages, le rapport des pressions du constituant polyatomique est de 1,67. Le rapport des temps de vie est voisin de 1,75. Compte tenu de la nature différente de la vapeur organique, et des modifications de tailles d'impulsions dans ces deux cas, la vie est proportionnelle à la pression de la vapeur, ce qui vérifie la théorie de KORFF et PRESENT (9).

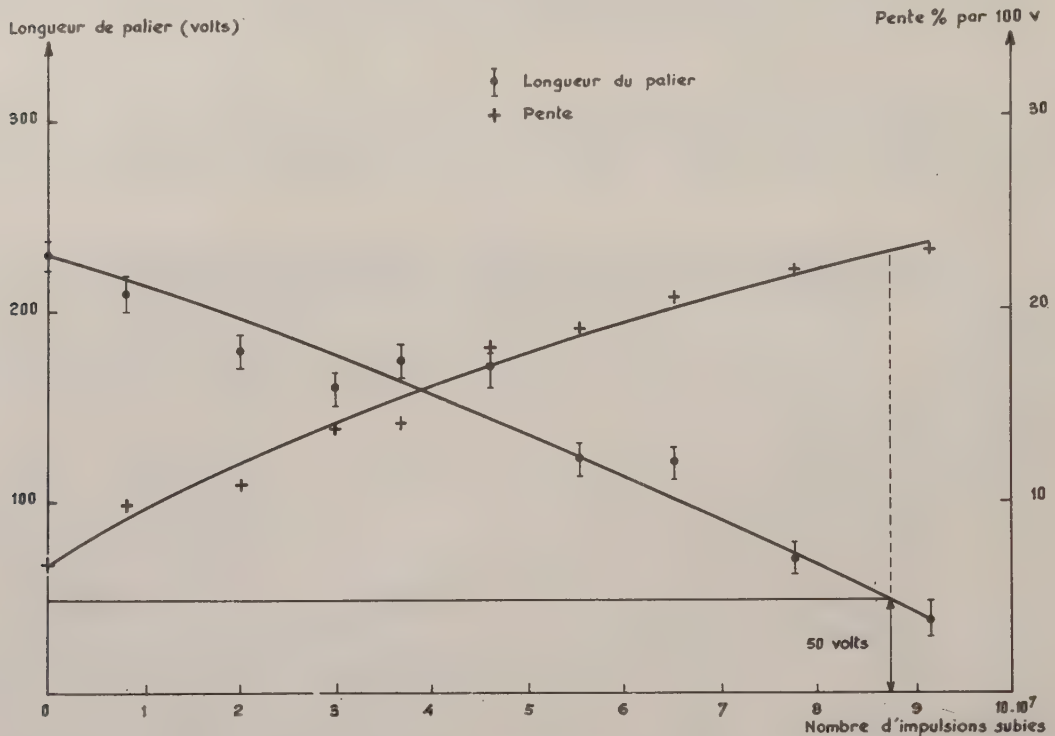


- FIGURE 86 - Variation de V_D , V_G^0 et V_M en fonction de l'âge. Mesure du temps de vie.
 $a = 0,1$ mm, $b = 5,4$ mm. Volume du compteur = $1,7$ cm³. Alcool : 1 cm de mercure
 Argon : 9 cm de mercure.

TABEAU XXII: RESULTATS MOYENS DE TEMPS DE VIE POUR DES COMPTEURS DE PETITES DIMENSIONS

REMPLISSAGE	a mm	b mm	L cm	Volume du compt. cm ³	W	N/s	ΔV volt	$\Delta V'$ volts	Temps de vie
Alcool: 1 cm de Hg argon : 9 cm de Hg	0,1	5,6	4,2	1,77	$4,5 \cdot 10^{-12}$	1000	150	30	$8 \cdot 10^7$
Méthylal: 0,6 cm de Hg Argon: 4,8 cm de Hg	0,1	5,4	3,7	1,54	$6,1 \cdot 10^{-12}$	800	150	24,5	$4 \cdot 10^7$

- FIGURE 87 - Evolution de la pente et de la longueur du palier (fond cosmique) pour :
 $a = 0,1$ mm, $b = 5,4$ cm. Volume du compteur = $1,7$ cm³. Alcool : 1 cm de mercure.
 Argon : 9 cm de mercure



2 - COMPTEUR DE DIMENSIONS COURANTES

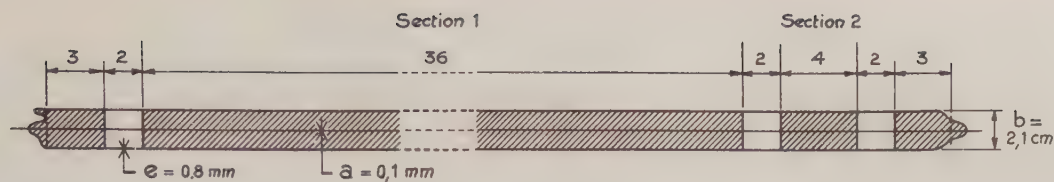
Une détermination détaillée a porté sur un compteur Novo rempli d'un mélange d'alcool (1 cm de mercure) et d'argon (9,1 cm de mercure). Ses caractéristiques géométriques sont données dans la figure 88 (a).

La section (1) est placée à la masse, tandis que (2) est maintenue à la haute tension. Le volume sensible de (1) est de 127 cm³, alors que le volume total du compteur est de 180 cm³. La réserve de gaz (53 cm³) est assez faible.

La section (2), non touchée par la décharge, permet d'estimer l'importance des effets de paroi. Le taux de comptage est de 1000 impulsions par seconde, valeur très inférieure à N_R . La surtension externe est de 150 volts, $R_1 = 1,8 \cdot 10^8$ ohms, $W = 3,6 \cdot 10^{-11}$, d'où $V' = 20$ volts.

1) Evolution de V_D , V_G^0 et V_M -

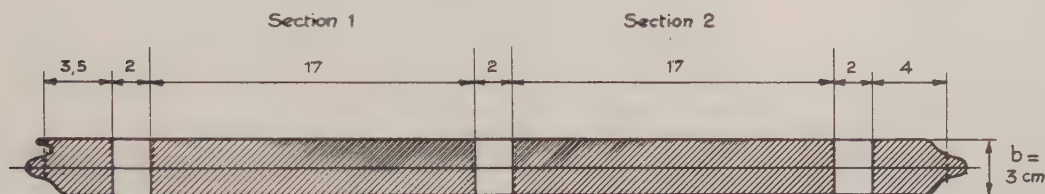
La figure 89 donne les résultats : V_D et V_G^0 augmentent de façon régulière, mais pas linéairement, et V_M décroît lentement. Ces mesures s'accordent avec celles de FAVRE et HAENNY, concernant le seuil de Geiger (31).



Echelle : 1/4 - Cotes en cm.

(a)

Alcool : 1 cm de Hg
Argon : 9,1 cm de Hg



Echelle : 1/4 - Cotes en cm.

(b)

Méthylal pur :
2,1 cm de Hg

- FIGURE 88 -

Schéma des compteurs de dimensions courantes utilisés dans
les mesures de temps de vie

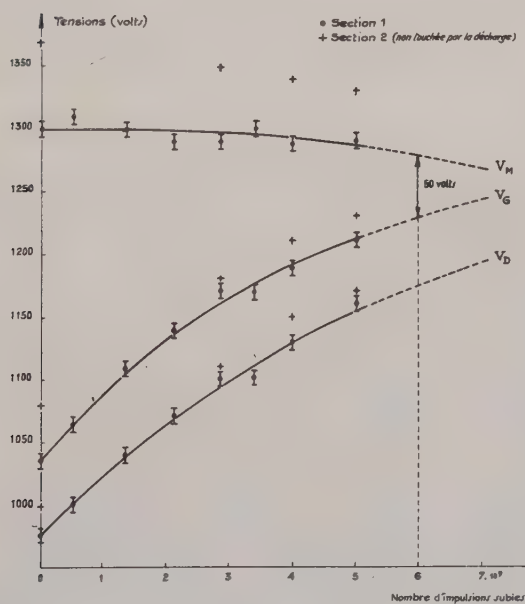


FIGURE 89 - Variation de V_D , V_G^0 et V_M en fonction de l'âge.

Mesure du temps de vie. $a = 0,1 \text{ mm}$, $b = 2,1 \text{ cm}$

Alcool : 1 cm de Hg + Argon : 9,1 cm de Hg

2) Evolution de la longueur et de la pente du palier -

Comme le montre la figure 90, la pente augmente de façon très sensible, mais dans aucun cas ne dépasse 15% par 100 volts.

3) Estimation du temps de vie -

Le critère définissant le temps de vie est la longueur du palier. L'extrapolation des mesures donne une vie de :

$$6 \times 10^9 \text{ impulsions}$$

pour une surtension interne égale à 20 volts.

L'importance de la réserve de gaz est assez faible et son influence sur le temps de vie peut être négligée.

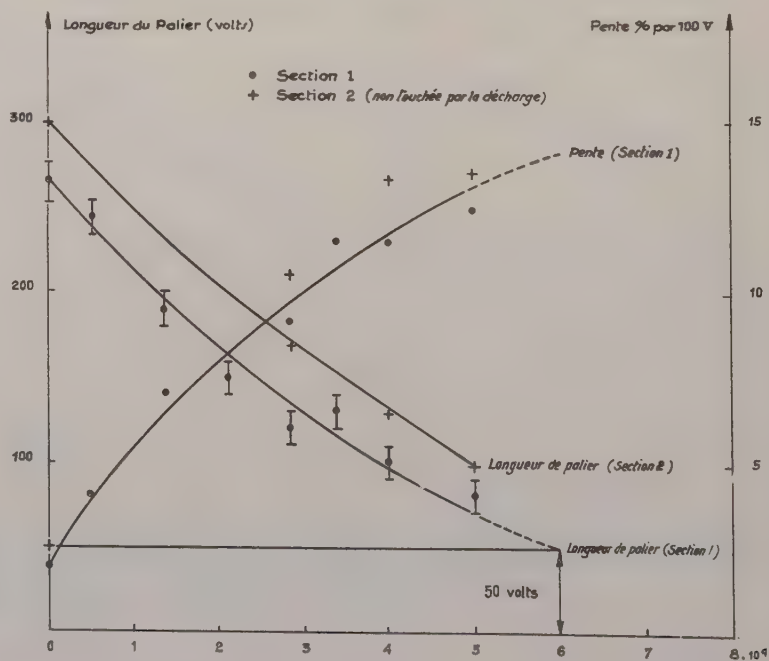
4) Importance des effets superficiels (cylindre ou fil)

Les caractéristiques de la section (2) ont été contrôlées au fur et à mesure de l'évolution de la section (1). On trouvera les résultats sur les figures 89 et 90. Au bout de 6×10^9 impulsions, la longueur du palier reste supérieure à 50 volts, mais sa valeur initiale était plus grande que celle de la section (1). Par contre, la pente subit une évolution identique à celle de (1), ce qui montre que la détérioration du compteur n'est nullement due à des effets de parois, contrairement à ce qui a lieu pour des remplissages contenant du méthane (23).

Il n'y a pas d'augmentation du mouvement propre.

La comparaison avec le temps de vie de compteurs de petites dimensions remplis d'un mélange autocoupeur identique montre que, alors que le rapport des volumes est voisin de 100, celui des vies est de 75, ce qui confirme une nouvelle fois la théorie de KORFF et de PRESENT compte tenu des valeurs différentes de la surtension et du rapport b/a .

FIGURE 90 - Evolution de la pente et de la longueur du palier (fond cosmique) pour $a = 0,1 \text{ mm}$, $b = 2,1 \text{ cm}$, alcool 1 cm de Hg + argon 9,1 cm Hg.



REPLISSAGES DE METHYLAL PUR

1 - COMPTEURS DE PETIT DIAMETRE

Les mesures ont porté sur une série de compteurs UVK-1 de $a = 0,1$ mm, $b = 5$ mm, $L = 2,5$ à $3,5$ cm, le volume total allant de $1,2$ à $1,4$ cm³. L'irradiation est choisie de telle sorte que l'intervalle de temps séparant deux impulsions successives soit nettement supérieur au temps de restitution calculé pour la tension d'utilisation : il n'y a ainsi aucun affaiblissement des amplitudes d'impulsions.

Comme dans ce qui précède, la vie correspond à l'un des critères suivants :

- 1 - Palier supérieur ou égal à 50 volts,
- 2 - Pente inférieure ou égale à 20% par 100 volts,
- 3 - Pas d'augmentation sensible du mouvement propre.

Pour une pression de remplissage de 4,1 cm de mercure, $N = 1\ 000$ impulsions par seconde et $(V - V_p) = 150$ volts, la vie pour les divers détecteurs étudiés, est comprise entre :

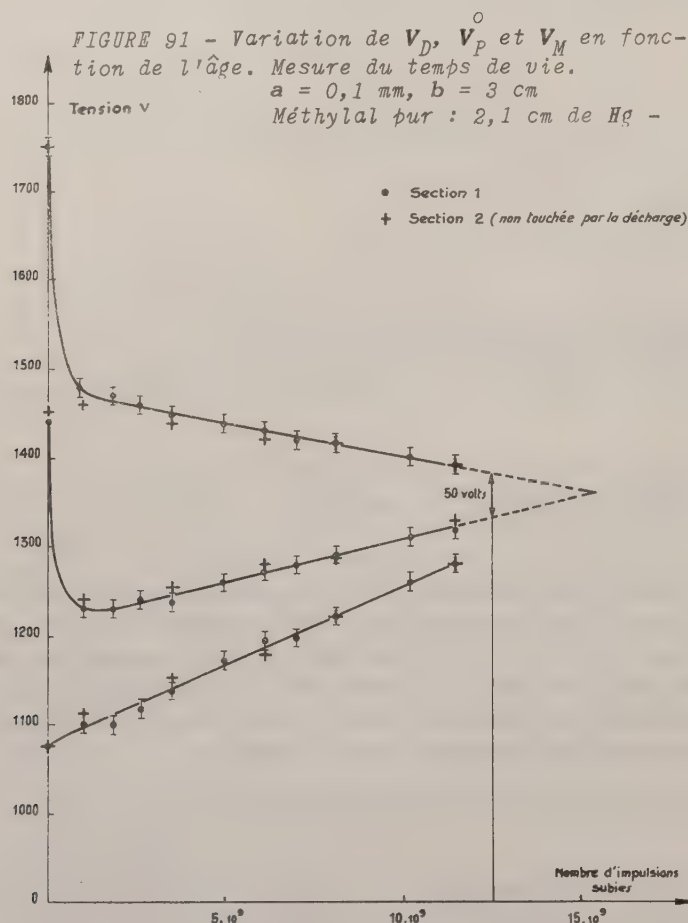
7×10^7 et 10^8 impulsions

soit une valeur 2 à 3 fois plus grande que celle obtenue par DREBLOW, et STREMMER (85) pour des remplissages classiques.

En fonction du nombre d'impulsions subies, le seuil du palier diminue, passe par un minimum, pour augmenter à nouveau, alors que la longueur du palier diminue de façon régulière. L'allure générale de l'évolution est identique à celle obtenue pour un compteur de dimensions courantes (voir plus loin).

2 - COMPTEUR DE DIMENSIONS COURANTES

Une détermination détaillée a porté sur un compteur Novo rempli de méthylal sous la pression de 2,1 cm de mercure. Ses caractéristiques



géométriques sont données dans la figure 88 (b).

La section (1) est placée à la masse tandis que (2) est maintenue à la haute tension. Le volume sensible est de 126 cm^3 , alors que le volume total du compteur est de 336 cm^3 la réserve de gaz est de 210 cm^3 .

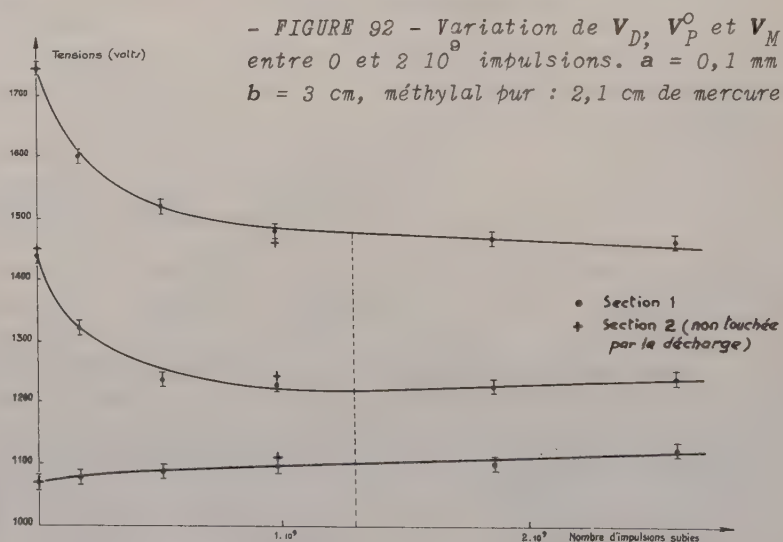
La section (2) non touchée par la décharge permet comme précédemment, d'évaluer les effets de parois. Le seuil du circuit associé est de 0,03 volt. La sur-tension externe est de 150 volts et $N = 1000$ impulsions par seconde.

1) Evolution de V_D , V_P^0 et V_M -

La figure 91 résume les résultats. Après une diminution rapide, due à la formation de gaz mono- ou di-atomiques favorisant la propagation de la décharge,

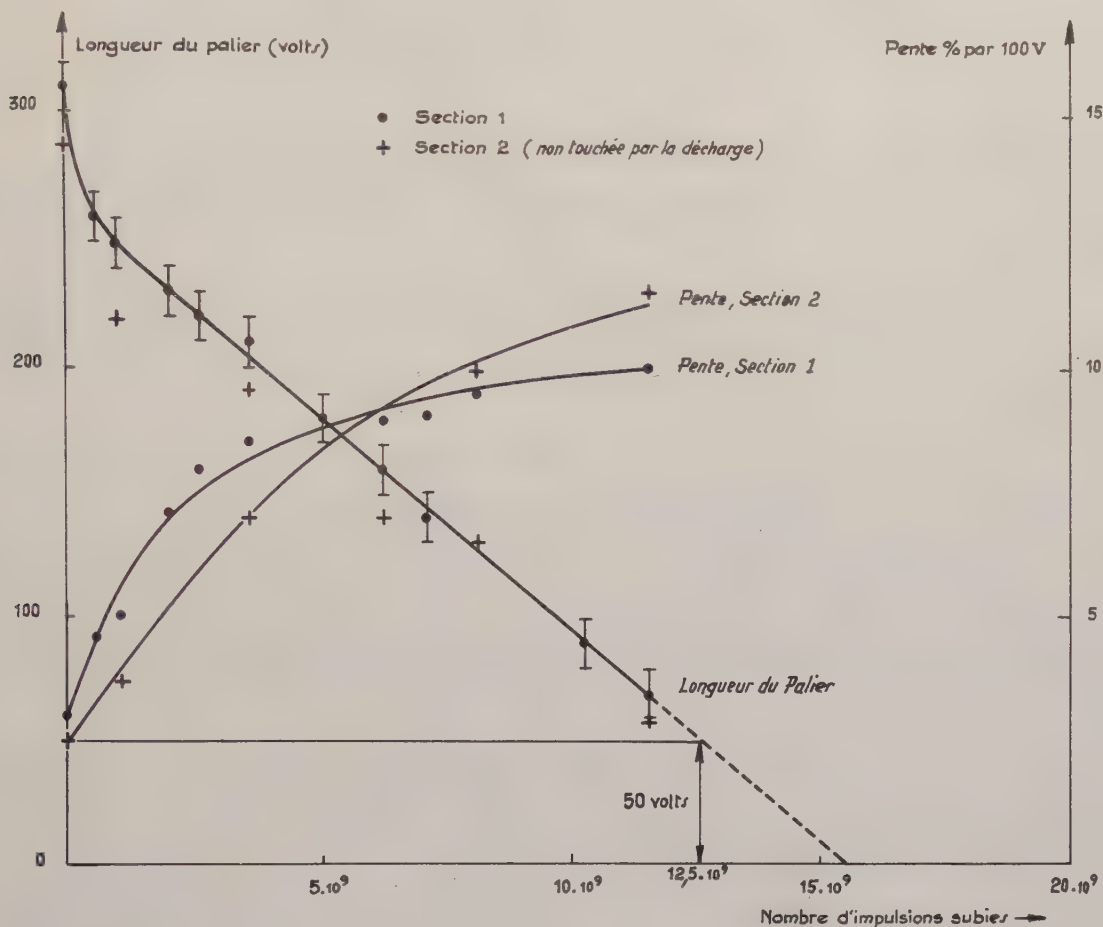
le seuil V_P^0 augmente de façon linéaire avec l'âge du détecteur; V_D varie aussi linéairement. Par contre V_M qui décroît d'abord rapidement, diminue ensuite linéairement avec l'âge.

La figure 92 donne de façon plus détaillée la variation de V_D et V_P^0 entre 0 et $2 \cdot 10^9$ impulsions. Les variations deviennent linéaires au dessus de $1,3 \cdot 10^9$ impulsions.



2) Evolution de la pente et de la longueur du palier -

Voir la figure 93 : conformément à ce qui précède, la longueur de palier diminue de façon linéaire avec l'âge du compteur. La pente augmente progressivement, mais ne dépasse jamais 12% par 100 volts; elle ne constitue pas le critère déterminant le temps de vie.



- FIGURE 93 - Evolution de la pente et de la longueur du palier pour $a = 0,1 \text{ mm}$, $b = 3 \text{ cm}$. Méthylal pur : 2,1 cm de mercure

3) Estimation du temps de vie -

Avec les mêmes critères que précédemment, l'extrapolation donne pour une longueur limite de palier de 50 volts, une vie de :

$$12,5 \times 10^9 \text{ impulsions}$$

La réserve de gaz de 210 cm^3 a pour effet de ralentir la destruction de la vapeur et de diminuer le pourcentage de gaz (CO , CO_2 , etc) susceptibles de créer des ions négatifs. Tenant compte de ce facteur, on peut admettre que, pour ce même compteur sans section (2), avec des extrémités identiques, le temps de vie serait :

$$(201/336) \times 12,5 \cdot 10^9 = 7,5 \times 10^9 \text{ impulsions}$$

4) Importance des effets de parois (cylindre ou fil).

Le palier de la section (2) a été contrôlé au fur et à mesure de l'évolution de (1). On trouvera les résultats sur les figures 91, 92 et 93.

Comme pour les remplissages classiques, l'évolution de la section (2) est identique à celle de la section (1) : les effets de détérioration proviennent du remplissage gazeux, et aucun effet superficiel n'intervient.

D'autre part, aucune augmentation du bruit de fond n'a été constatée.

Pour un volume de $1,3 \text{ cm}^3$, la vie est de $8,5 \cdot 10^7$ impulsions en moyenne. Comparés au compteur de 3 cm de diamètre, le rapport des volumes est de 258, celui des vies de 147. Compte tenu des différences dans les remplissages, c'est à dire dans les amplitudes d'impulsions, et dans le rapport b/a , ces résultats confirment une nouvelle fois la théorie de KORFF et PRESENT.

En conclusion, les remplissages de vapeur pure permettent d'augmenter notablement la durée de vie. Ce fait confirme l'intérêt de leur utilisation sous irradiations intenses. De plus, la tension de seuil reste toujours inférieure à sa valeur initiale.

Avec une réserve de gaz importante (plusieurs fois plus grande que le volume sensible) - ce qui ne pose aucun problème particulier de construction - on obtiendra un temps de vie très supérieur à 10^{10} impulsions, soit, dans ce domaine, des qualités comparables à celles des compteurs à halogène.

CONCLUSION GENERALE

Pour résumer l'ensemble de ce qui précède, cette étude apporte les contributions originales suivantes :

Première Partie

1 - TECHNIQUE DE FABRICATION ET CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES DES COMPTEURS A PAROIS DE VERRE ET GRAPHITAGE EXTERNE

1 - Des verres plus conducteurs que le verre "Novo" usuel ont été utilisés : les compteurs ainsi construits sont de qualités identiques à celles du novo, mais permettent des irradiations beaucoup plus intenses. D'autre part, des épaisseurs de 0,15 à 0,25 mm sont très facilement réalisables.

2 - La technique de fabrication mise au point permet la construction de détecteurs de petit diamètre (0,4 et 0,5 cm), possédant des qualités supérieures à celles de compteurs à parois métalliques de dimensions comparables.

3 - Avec deux sections de garde placées à la haute tension de chaque côté de la longueur graphitée L_c du cylindre à la masse, L_i étant l'intervalle isolé de part et d'autre de L_c , la longueur efficace L , pour le seuil de Geiger est :

$$L = L_c + 0,2 L_i$$

4 - V_D et V_G sont indépendants de L pour $L/b \geq 3$. La pente diminue lorsque L augmente, ce qui confirme que la construction d'un compteur est d'autant plus facile que sa longueur est plus grande. La longueur de pailier passe par un maximum pour $L/b = 2,5$. Pour $L/b < 2,5$, l'effet prépondérant vient de la distorsion du champ électrique aux extrémités de la

section utile. Pour $L/b > 2,5$, par contre, intervient l'augmentation du nombre d'ions arrivant sur le cylindre par impulsion, qui accentue la probabilité d'émission secondaire depuis la cathode.



Seconde Partie

2 - ETUDE DE LA ZONE DE TRANSITION ENTRE LA REGION DE PROPORTIONALITE LIMITEE & LA REGION DE RESOLUTION DES COMPTEURS AUTOCOUPEURS A VAPEUR ORGANIQUE

Les constantes B et K définies plus loin sont applicables à toutes les catégories de compteurs. Les mesures ont porté en grande partie sur des compteurs à coque de verre mais se généralisent aux détecteurs à cathode interne si l'on introduit un circuit (R-C) entre le cylindre et la masse.

Dans la région de transition, la charge moyenne $\bar{q}$ par impulsion est de la forme :

$$\bar{q} = B L \sqrt{V - V_D}$$

V_D étant le seuil de démarrage des impulsions, pour un circuit associé de seuil convenablement choisi. En particulier, pour le seuil de Geiger :

$$q = B L \sqrt{V_G - V_D}$$

Pour un compteur à coque de verre de résistivité ρ , la variation du seuil de Geiger externe avec le taux de comptage N_o est donnée par :

$$\Delta V_G = B N_o \rho \frac{e}{\pi b} \sqrt{V_G^o - V_D}$$

e étant l'épaisseur de la paroi de verre et V_G^o le seuil de Geiger sous irradiation très faible. B est un paramètre de la forme :

$$B = K \text{ Log}_e (b, a)$$

a étant le diamètre de l'anode. K est indépendant de la nature du constituant polyatomique et de sa pression lorsqu'elle est inférieure à 1,4 cm

de mercure, pour le méthylal tout au moins. Pour une pression d'argon P_A supérieure à 12 cm de mercure :

$$K = \frac{8,37 \cdot 10^{-12}}{P_A}$$

Ces expériences permettent de mesurer la résistivité du verre employé en fonction de la température.

On déduit de ce qui précède les principes généraux de fabrication et d'utilisation des compteurs à coque de verre destinés à des taux de comptage élevés. En ce qui concerne les remplissages, 3 solutions sont possibles : vapeur polyatomique pure, vapeur polyatomique + argon sous pression relativement élevée, vapeur polyatomique + gaz d'appoint pour lequel K est plus faible que la valeur obtenue pour l'argon. L'hydrogène convient bien.

Une réalisation pratique est décrite, pour laquelle ΔV_G ne dépasse pas la longueur du palier sous irradiation faible, tant que N_0 est inférieur ou égal à $2,6 \cdot 10^6$ impulsions par minute.

3 - METHODE NOUVELLE DE MESURE DU TEMPS DE RESTITUTION POUR LE SEUIL DE GEIGER

Cette méthode, établie pour les compteurs à coque de verre, se généralise à tous les types de détecteurs si un circuit ($R-C$) est intercalé entre la cathode et la masse.

La variation de V_G en fonction de N_0 - pour un circuit de seuil inférieur à 0,1 volt environ - prend une allure parabolique au dessus d'une certaine valeur N_R par seconde du taux de comptage, et le temps de restitution τ est donné par :

$$\tau = \frac{1}{N_R} \text{ seconde}$$

τ se calcule par la formule de STEVER :

$$\tau = \frac{(b^2 - a^2) \text{ Log}_e (b/a) \cdot P}{8 K \cdot V_G \cdot P_0}$$

P étant la pression totale à l'intérieur du compteur, P_0 la pression atmosphérique, K la mobilité ionique du mélange considéré.

La mesure de τ montre que l'accord avec cette formule n'est satisfaisant que lorsque b est supérieur à 2,1 cm environ. Au dessous, le désaccord est attribuable aux modifications de mobilités ioniques dans les champs électriques élevés.

La formule simple :

$$K = \frac{K_A \cdot K_V}{P_A K_V + P_V K_A}$$

permet de calculer K_V connaissant K_A . (p_A = pression partielle de l'argon p_V = pression partielle du constituant polyatomique, K_A = mobilité ionique de l'argon, K_V = mobilité ionique du constituant polyatomique).

Prenant $K_A = 1,30$ cm/s/volt/cm, on obtient :

Ethanol : $K_V = (0,32 \pm 0,03)$ cm/s/volt/cm

en bon accord avec la valeur de 0,34 obtenue par DEN HARTOG.

Méthylal : $K_V = (0,26 \pm 0,03)$ cm/s/volt/cm

Formiate d'éthyle : $K_V = (0,28 \pm 0,03)$ cm/s/volt/cm

Hydrogène : $K_V = (5,3 \pm 0,9)$ cm/s/volt/cm

On trouve encore répandue l'opinion selon laquelle le temps mort d'un compteur à coque de verre serait conditionné par la constante de temps du circuit équivalent à la coque de verre, donc très long : les expériences faites ici montrent qu'il n'en est rien.

Malgré des mesures assez longues, cette méthode permet, sans montage spécial, et à l'aide d'un circuit de comptage classique, de mesurer pour le seuil de Geiger le temps de restitution avec une précision de l'ordre de 5% dans des conditions où les autres méthodes sont difficiles à appliquer.



Troisième Partie

4 - DETERMINATION PRECISE DE LA TENSION V_s

(Théorie de Wilkinson)

Le calcul de la constante caractéristique Φ définie par la formule :

$$m = \frac{q}{Q_0} = \frac{V - V_s}{100} \Phi$$

(Q_0 = charge électrostatique portée par le fil) conduit à donner une définition plus rationnelle de la tension de seuil V_s de la théorie de WILKINSON.

V_s peut être définie comme la tension pour laquelle l'extrapolation de la courbe expérimentale donnant le courant qui traverse le compteur en fonction de V coupe l'axe des V .

Au dessus d'une tension V_N (que WILKINSON confond avec V_s) le taux de comptage a une variation parabolique jusqu'à V_G . Prenant $I = 1$ pour $V = V_G$, on obtient :

$$I_V = \left[\frac{(V - V_D)(V - V_N)}{(V_G - V_D)(V_G - V_N)} \right]^{1/2}$$

La courbe obtenue est, dans sa plus grande partie, assimilable à une droite, dont l'intersection avec l'axe des V définit V_s . L'expérience confirme cette détermination théorique, qu'il s'agisse de compteurs à cathode interne ou à graphitage externe.

5 - THEORIE APPROCHEE DU MECANISME DES COMPTEURS A COQUE DE VERRE AU DESSUS DE V_G (REPLISSAGES AUTOCOUCPEURS CLASSIQUES)

Cette théorie est valable pour N_0 (seuil de Geiger) suffisamment grand (voir plus loin).

La charge par impulsion est de la forme :

$$q = W \cdot \frac{V'}{V_s} (V' - V_s)$$

avec : $V' = V - v$ (v = tension interne de la paroi de verre par rapport à la masse). W est lié à Φ par :

$$W = \frac{10^{-14}}{1,8 \log_e (b/a)} L \cdot V_s \cdot \Phi$$

La théorie donne :

$$v = (V - V_s) \frac{WNR}{WNR + 1} \left[1 + \frac{1}{(WNR + 1)^2} \frac{V - V_s}{V_s} + \dots \right]$$

Pour une surtension assez faible :

$$v = \frac{WNR}{WNR + 1} (V - V_s)$$

En ce qui concerne la charge par impulsion :

$$q = \frac{W}{1 + WNR} [V - V_s] \left[1 + \frac{1}{(WNR + 1)^2} \frac{V - V_s}{V_s} \right]$$

Pour une surtension assez faible :

$$q = \frac{W}{1 + WNR} [V - V_s]$$

W est lié à la constante B de la région de transition par :

$$W = B L \frac{\sqrt{V_G^0 - V_D}}{V_G^0 - V_s}$$

cette formule se généralisant au cas des compteurs à cathode interne.

Si P_i est la pente interne, constante quel que soit N , la pente externe mesurée P_e est donnée par :

$$P_e = \frac{P_i}{1 + WNR}$$

Ces calculs sont confrontés avec des théories plus complètes, particulièrement la théorie de A. ARON. L'écart des résultats peut être caractérisé par :

$$\frac{\Delta(v/q)}{v/q} = 1 - \frac{1}{N \theta (e^{1/N\theta} - 1)}$$

θ = constante de temps du circuit équivalent à la paroi de verre.

A 20° C, l'écart est inférieur à 10% pour :

$N \geq 17,5$ par seconde pour le verre Novo,

$N \geq 125$ par seconde pour le verre UVK-1 plus conducteur.

La théorie approchée s'applique donc dans la grande majorité des cas, et lorsqu'elle n'est plus valable, la valeur de v est totalement négligeable.

6 - MESURE DES CONSTANTES CARACTERISTIQUES DE LA ZONE DE RESOLUTION ET VERIFICATION DE LA THEORIE QUI PRECEDE

a) Mesure de la constante W (d'où Φ).

On peut mesurer V_D , V_S et V_G , connaissant L et B ou mesurer la variation de P_e avec N_o . Ces deux méthodes concordent parfaitement, dans le cas des compteurs à coque de verre comme dans celui des détecteurs à cathode interne, et permettent d'établir les courbes expérimentales $\Phi = f(b)$ pour un remplissage standard et $\Phi = f(P_A)$ pour un rapport b/a donné.

b) Mesure de la charge q par impulsion -

La constante W est donnée par :

$$\frac{dV}{dq} = \frac{1}{W} + N_o R$$

L'accord avec les valeurs obtenues par les méthodes précédentes est excellent. On donne la courbe $R = f(t^o)$.

Quatrième Partie

7 - ETUDE DES COMPTEURS A COQUE DE VERRE REMPLIS DE METHYLAL PUR

a) En fonction de la pression du méthylal -

Trois séries de compteurs de diamètres internes égaux à 1, 2 et 2,8 cm ont été expérimentées. Le seuil de démarrage, le seuil du palier et la tension maximum du palier sont des fonctions linéaires de la pression du méthylal jusqu'à des valeurs voisines de la tension maximum dans le cas des compteurs de 1 cm de diamètre, au dessous de 6 cm de mercure pour ceux de 2 cm de diamètre, au dessous de 1,6 cm de mercure pour ceux de 2,8 cm (taux de comptage faible). Pour l'utilisation courante, les zones de pressions donnant les meilleures performances sont: 3,5 à 5,5 cm de mercure pour les compteurs de 1 cm, 2 à 4 cm de mercure pour ceux de 2 cm, 1,5 à 3 cm de mercure pour ceux de 2,8 cm; l'efficacité gamma est alors très voisine de celle obtenue dans le cas de remplissages argon-alcool du type classique. Les valeurs données sont indépendantes de la longueur efficace tant qu'elle n'est pas inférieure à 3 fois le diamètre. Les compteurs de ce type suivent aisément une irradiation gamma intense.

b) En fonction du taux de comptage -

Les impulsions ne sont pas d'amplitude uniforme. Pour une irradiation gamma donnée et chaque tension d'utilisation, il existe une charge minimum d'impulsion q_m , une charge maximum q_M et une charge moyenne $\bar{q}$.

De même que pour un compteur à remplissage classique :

$$\Delta V_P = N_O \bar{q} \cdot R$$

Le temps de restitution τ pour V_P se mesure comme il a été vu plus haut :

$$\tau = \frac{1}{N_R} \text{ seconde}$$

La valeur de la mobilité ionique du méthylal ainsi obtenue est :

$$K = 0,26 \text{ cm/s/volt/cm}$$

valeur identique à celle obtenue plus haut.

c) En fonction du seuil du circuit associé -

Pour chaque tension d'utilisation V , les hauteurs d'impulsion se répartissent entre une valeur minimum v_m et une valeur maximum v_M .

L'expérience montre que, au dessous d'une tension critique de fonctionnement, $\bar{q}$, v_m , v et v_M sont des fonctions exponentielles de la tension; les remplissages de méthylal pur suivent, malgré la grande valeur du coefficient d'amplification dans le gaz, les lois des compteurs proportionnels. Au dessus de la tension critique, la propagation de la décharge s'accroît et l'on tend vers la zone de résolution.

d) Vieillissement après remplissage.-

Avec une pression de remplissage de l'ordre de 7 cm de mercure, le seuil du palier subit, après remplissage, un abaissement progressif, la caractéristique limite étant atteinte au bout d'un temps d'autant plus long que l'étuvage a été plus prononcé. Ces faits s'accordent avec l'existence d'un dépôt de méthylal sur la paroi interne du verre.

8 - COEFFICIENT DE TEMPERATURE ET STABILITE THERMIQUE DES COMPTEURS AUTOCOUPEURS A VAPEUR ORGANIQUE

L'introduction de remplissages de vapeur pure permet d'expérimenter dans une gamme plus vaste et d'expliquer les résultats assez contradictoires obtenus antérieurement. Les études ont été faites entre 20° et 250° C, en utilisant des détecteurs à coque de verre ou à cathode interne.

Le coefficient de température c_0 , proportionnel à la pression partielle du constituant polyatomique, est dû à sa désorption régulière depuis les parois. La caractéristique de palier s'améliore lorsque la température augmente, et l'effet néfaste d'ions négatifs possibles produits par la vapeur de mercure existant en très faibles proportions dans le remplissage est nul, contrairement à certaines hypothèses antérieures.

La détérioration progressive de la caractéristique au dessus d'une certaine température est due à un phénomène étranger à la décharge, réversible (dégagement de vapeur d'eau depuis les parois, augmentation du mouvement propre) ou irréversible (décomposition de la vapeur polyatomique ou réaction chimique sur les parois).

Les compteurs à parois de verre non étuvés manifestent une stabilité thermique remarquable : jusqu'à 250° C ne se produit aucune augmentation sensible du fond et, jusqu'à une température t_0 voisine de 100°C, leur coefficient thermique est très inférieur à celui de compteurs à cathode interne du type classique. Au dessus de t_0 , la variation est plus rapide :

$$t \leq t_0 \quad v_p^t - v_p^{20} = c_0 (t - 20)$$

$$t > t_0 \quad V_P^t - V_P^{20} = c_0(t - 20) + c_1(t - t_0)^2$$

P_v étant exprimée en cm de mercure :

Méthylal : $c_0 = 0,16 P_v$ (volt par degré)
 Ethanol : $c_0 = 0,50 P_v$ (volt par degré)



Cinquième Partie

9 - MESURE DU TEMPS DE VIE DE COMPTEURS A COQUE DE VERRE

Le compteur est considéré comme usé lorsque n'importe lequel des critères suivants cesse d'être vérifié :

- 1) Longueur de palier supérieure ou égale à 50 volts.
- 2) Pente du palier inférieure ou égale à 20% par 100 volts.
- 3) Pas d'augmentation sensible du mouvement propre.

a) Remplissages autocoupeurs classiques -

Le temps de vie est sensiblement proportionnel au volume du compteur, pour des conditions électriques comparables. La détérioration du palier provient uniquement de la composition du gaz de remplissage, les effets de parois ne manifestant aucun effet sensible. Pour un remplissage d'alcool (1 cm de mercure) et d'argon (9 cm de Hg) le temps de vie est de 8×10^7 impulsions pour $b = 5,6$ mm et $V = 1,77$ cm³. Il est de 6×10^9 impulsions pour $b = 2,1$ cm et $V = 180$ cm³.

b) Méthylal pur -

Les tailles d'impulsions sont faibles, et le temps de vie est supérieur à celui de remplissages classiques; la tension V_P reste toujours inférieure à sa valeur initiale, et, au dessus d'un âge de l'ordre de 10^9 impulsions, les variations de V_D , V_P et V_M deviennent linéaires. Aucun effet de paroi n'est décelable. Avec une réserve de gaz importante, on pourra obtenir un temps de vie supérieur à 10^{10} impulsions.



J'exprime ma respectueuse gratitude à Monsieur le Professeur H. NORMANT, à Monsieur le Doyen de la Faculté des Sciences de l'Université de Lille et à la Direction de l'Enseignement Supérieur qui ont bien voulu m'accorder un détachement auprès du Ministère de la Défense Nationale pour me permettre d'effectuer ce travail.

J'adresse mon respectueux souvenir à Monsieur M. SCHERER, Professeur à la Faculté des Sciences de l'Université de Caen, à qui je dois l'idée initiale de cette étude.

Ces recherches ont été faites sous la direction de Monsieur l'Ingénieur en Chef P. CHANSON. Je tiens à le remercier pour la bienveillance qu'il m'a toujours témoignée et pour les moyens matériels qu'il a bien voulu mettre à ma disposition.

Monsieur C. MAGNAN, Sous-Directeur du Laboratoire de Physique Atomique et Moléculaire du Collège de France m'a accueilli dans ce laboratoire avec la grande bienveillance qu'il aurait accordée à l'un de ses collaborateurs.

Monsieur R. VISTE m'a épaulé dans la réalisation de certaines expériences, et m'a constamment apporté le soutien de sa précieuse collaboration technique.

Monsieur R. BAUMGARTNER, Physicien Adjoint au C.N. R.S., a construit le banc de pompage et de remplissage des compteurs avec un souci constant de la perfection technique. MM. M. LAFOND et A. PATIOU m'ont également apporté une aide précieuse.

Monsieur H. ZYNGIER, Ingénieur E.P.C., a réalisé une expérience délicate sur la variation de la résistance du verre aux basses températures.

Une partie de la bibliographie m'a été procurée par le Service de Documentation de la S.E.F.T., et c'est pour moi un bien agréable devoir que d'exprimer à Monsieur l'Ingénieur Principal R. VIENNET, à Monsieur R. LECLAIRE et à leur sympathique équipe toute ma reconnaissance pour l'aide inappréciable qu'ils m'ont ainsi fournie. Monsieur G. OLIVIER Bibliothécaire du Laboratoire de Physique Atomique et Moléculaire du Collège de France, m'a également apporté un soutien précieux.

Je dois enfin à Monsieur l'Ingénieur Principal Ph. DURAND, à Mlle Ch. LAINE et à toute l'équipe du Service de reproduction de la S.E.F.T. l'impression impeccable de ce Mémoire.

A handwritten signature in dark ink, consisting of a stylized, cursive 'S' or 'L' shape with a long horizontal stroke extending to the right.

NOMENCLATURE DES PRINCIPAUX SYMBOLES UTILISES

GEOMETRIE DU COMPTEUR -

- a = diamètre du fil anode
- b = diamètre interne du cylindre
- L = longueur efficace
- L_c = longueur graphitée du cylindre placée à la masse
- L_i = longueur du cylindre isolée de part et d'autre de L_c
- e = épaisseur de la coque de verre

CARACTERISTIQUES ELECTRIQUES DU MONTAGE -

- ϵ = constante diélectrique du verre utilisé
- ρ = résistivité de ce verre
- C_1 = capacité de la région efficace de la coque de verre
- R_1 = résistance de cette région efficace
- θ_1 = constante de temps du circuit équivalent à la coque de verre
- C = capacité anode-cylindre
- C_a = capacité totale du système anodique
- C' = capacité parasite introduite par le fil de jonction à l'anode
- C_2 = capacité parasite introduite par la haute tension
- R_2 = résistance anodique de charge
- θ_2 = constante de temps
- Q = charge électrostatique portée par l'anode pour une tension V donnée

IMPULSIONS ELECTRIQUES DANS LE COMPTEUR -

- n = nombre d'électrons produits dans l'avalanche initiale
- γ = efficacité photoélectrique totale du compteur
- A = coefficient d'amplification
- $\bar{q}$ = valeur moyenne de la charge par impulsion dans la partie terminale de la zone de proportionnalité limitée
- q = charge par impulsion dans la zone de Geiger
- q_s = charge par unité de longueur de l'anode
- q_d = charge minimum détectable par un circuit associé donné
- B = constante caractéristique de la région de proportionnalité limitée
- K = paramètre du remplissage
- Φ = constante caractéristique de la zone de Geiger
- W = constante déduite de la théorie de WILKINSON
- τ = temps de restitution pour le seuil de Geiger

CARACTERISTIQUES DU REMPLISSAGE -

- P_o = pression atmosphérique
- P = pression totale dans le compteur
- P_A = pression de l'argon
- P_v = pression de la vapeur polyatomique

CARACTERISTIQUES DU REMPLISSAGE (suite) -

- $p_A = P_A/P$ = pression partielle de l'argon
 $p_V = P_V/P$ = pression partielle de la vapeur polyatomique
 k = mobilité ionique du remplissage (pression P)
 K = mobilité ionique du remplissage, rapportée à la pression atmosphérique
 $K_A =$ mobilité ionique de l'argon (P_O)
 $K_V =$ mobilité ionique du constituant polyatomique (P_O)
 I = potentiel d'ionisation du constituant polyatomique
 φ = travail d'extraction de la surface du cylindre

CARACTERISTIQUE DE PALIER -

- V = tension d'utilisation
 V_D = seuil de démarrage pour un circuit donné
 V_S = seuil de la zone de Geiger (théorie classique)
 V_N = base pratique de la courbe. $N = f(V)$
 V_G = seuil de Geiger vrai
 V_M = tension maximum du palier
 V_P = seuil du palier d'un remplissage de vapeur pure
 V_G^O = seuil de Geiger d'un compteur à graphitage externe pour un taux de comptage très faible
 $V_G^{N_O}$ = seuil de Geiger d'un compteur à graphitage externe pour le taux de comptage N_O
 v = potentiel moyen de la paroi interne du cylindre
 v_m = sa valeur minimum
 v_M = sa valeur maximum
 N_O = taux de comptage pour le seuil de Geiger
 N = taux de comptage pour la tension V
 N_R = taux de comptage critique (temps de restitution)
 N_M = taux de comptage pour la tension V_M
 P_i = pente interne du palier d'un compteur à graphitage externe
 P_e = pente externe du palier d'un compteur à graphitage externe

DIVERS -

- t_O = température critique du fonctionnement d'un compteur à graphitage externe
 c = coefficient thermique normal
 c_{O_1} = coefficient thermique additif au dessus de t_O
-

BIBLIOGRAPHIE

1.- OUVRAGES GENERAUX TRAITANT DES COMPTEURS DE GEIGER-MULLER et DES COMPTEURS PROPORTIONNELS

- J. THIBAUD, L. CARTAN et P. COMPARAT : *Quelques techniques actuelles en Physique Nucléaire*. Gauthier-Villars, Paris (1938) p. 175 à 271
- J.S.STRONG et AlII : *Procedures in Experimental Physics*. Prentice Hall, New-York (1939)
- J.S.STRONG : *Modern Physical Laboratory Practice*. Blackie and son, Ltd, Londres (1940)
- A. NAWIJN : *Het gasontladings mechanism van den GEIGER-MULLER teller*, Delft (1943)
- S.C. CURRAN et J.D. CRAGGS : *Counting tubes, theory and applications*. Butterworths Scientific Publications, Londres (1949)
- B. ROSSI et H. STAUB : *Ionisation chambers and counters*. Mac Graw-Hill Book Company , New-York (1949)
- L.F. CURTISS : *Measurements of radioactivity*. U.S. Department of Commerce, National Bureau of Standards, circular 476, (1949)
- D.J.X. MONTGOMERY : *Cosmic Rays Physics*. Princeton University Press (1949), p.102-122
- R. MAZE : *Techniques générales du Laboratoire de Physique*, volume II, quatorzième chapitre. "Comptage et sélection des particules ionisantes" p. 185 à 222. Editions du C.N.R.S., Paris (1950)
- D.H. WILKINSON : *Ionisation Chambers and Counters*. Cambridge Monographs on Physics , Cambridge University Press, (1950)
- D. HALLIDAY : *Introductory Nuclear Physics*. John Wiley and Sons, New-York (1950)p. 174-211
- L.F. CURTISS : *The GEIGER-MULLER counter*. U.S. Department of Commerce, Washington, (1950)
- E. BLEULER et G.J. GOLDSMITH : *Experimental Nucleonics*. Rinehart and Co, New-York (1952)
- R. GUILLIEN : *Electronique*, tome 2. Presses Universitaires de France, Paris (1954)p. 610-628
- E. FUNFER et H. NEUERT : *Zählrohre und szintillationszähler*. Verlag G. Braun, Karlsruhe (1954)
- COLLECTIF : *New Research techniques in Physics 1952*, Rio-de-Janeiro, Serv. Graph. I.B.G. E., (1954)
- F.J. DAVIS, H. FAUL, S.H.U. BOWIE, I. FRIEDMAN et G.R. TILTON : *Fundamental considerations, instruments and techniques*, dans "Nuclear Geology", p. 7-74. J. Wiley and sons, New-York, Chapman and Hill Londres (1954)
- S.A. KORFF (avec la collaboration de H. KALLMANN) *Electron and Nuclear Counters. Theory and Use* (seconde édition). D. Van Nostrand, New-York, (1955)
- J.M. CORK : *Radioactivity and Nuclear Physics*, D. Van Nostrand, New-York (1953), pp.46-

- K. SIEGBAHN : *Beta and gamma ray spectroscopy*. North-Holland Publishing Company, Amsterdam (1955)
- A. DAUVILLIER : *Les rayons cosmiques dans leurs rapports avec l'électricité atmosphérique, la météorologie, le géo-magnétisme et l'astronomie* (1^{er} volume) Dunod, Paris, (1954)
- J. SHARPE : *Nuclear Radiation Detectors*, Methuen et Co, Londres (1955)
-

II - PUBLICATIONS CITEES DANS LE TEXTE DU MEMOIRE

- (1) E. RUTHERFORD et H. GEIGER : *An electrical method of counting the number of alpha particles from radioactive substances*. Proc.Phys.Soc. (1908), 21-A 141.
- (2) H. GEIGER et W. MULLER : *Das Elektronenzählrohr*. Phys.Zeits. (1928), 29, 839
- (3) A. TROST : *Untersuchungen an zählrohren mit der Braunschen Röhre*. Phys.Zeits. (1935), 36, 801.
- (4) A. TROST : *Über zählrohre mit dampfzusatz*. Zeits. f. Phys., (1937), 105, 399.
- (5) D. BLANC : *Le fonctionnement des compteurs de GEIGER-MULLER à autocoupure* Journ. Phys. et Rad., (1953), 14, 280.
- (6) R. MAZE : *Compteurs à parois de verre et à cathode externe*. Journ. Phys. et Rad., (1946), 7, 164.
- (7) C.G. MONTGOMERY et D.D. MONTGOMERY : *The discharge mechanism of GEIGER-MULLER counters*. Phys. Rev., (1940), 57, 1030.
- (8) P. WEISZ : *Note on the nature of the gaz mixture in self-quenching GEIGER-MULLER tubes*. Phys. Rev., (1942), 52, 477.
- (9) S.A. KORFF et R.D. PRESENT : *On the role of polyatomic gases in fast counters*. Phys. Rev. (1944), 65, 274.
- (10) R. MEUNIER : *Demande de Brevet Français n°5939*. Dépôt du 25-3-1953 (P.V. 645292). *Perfectionnements apportés aux procédés pour l'obtention de compteurs du type GEIGER-MULLER*.
- (11) R. MEUNIER, M. BONPAS et J.P. LEGRAND : *Les compteurs de GEIGER-MULLER à mélange binaire, gaz rare, vapeur organique*. Journ. Phys. et Rad., (1953) 14, 630.
- (12) D. VAN ZOONEN : *Mécanisme de la décharge dans les tubes de GEIGER remplis de gaz rare et d'halogène (en Hollandais)*. Thèse de Doctorat ès Sciences, Delft (12 mai 1954).
- (13) S.H. LIEBSON : *The discharge mechanism of self quenching GEIGER-MULLER COUNTERS* Phys. Rev., (1947), 72, 187.
- (14) S.H. LIEBSON : *The discharge mechanism of self quenching GEIGER-MULLER counters* Phys. Rev., (1947), 72, 602.
- (15) M.L.E. OLIPHANT et P.B. MOON : Proc. Phys. Soc., (1930), 127-A, 388.
- (16) H.L. WISER et A.D. KRUMBEIN : *Mechanism of the termination of the GEIGER plateau region*. Phys. Rev., (1955), 98, 303.
- (17) R. MAZE : *Techniques générales du Laboratoire de Physique*, volume 2, chapitre 14, p. 199. Editions du C.N.R.S. (1950).
- (18) J.T. LLOYD : *Thin glass counter windows*. Journ. Sci.Instr. (1949), 26, 126.
- (19) D. BLANC et M. SCHERER : *Sur les compteurs GEIGER-MULLER à cathode externe*. C.R. Acad. Sci., (1949), 228, 2018.

- (20) D. BLANC : *Au sujet du volume sensible des compteurs de GEIGER-MULLER à cathode externe.* Il Nuovo Cimento, (1955), 1, 1280
- (21) L. CARLBOM et C. TAYLOR : *Some disturbing effects in glass GEIGER-MULLER counters.* Journ. Sci. Instr., (1952), 29, 296.
- (22) D. BLANC : *Modification du compteur à cathode externe de MAZE. Application à l'étude de la vie des compteurs remplis de méthane.* Diplôme d'Etudes Supérieures, Université de Caen (1949).
- (23) D. BLANC : *Etude de la détérioration des compteurs de GEIGER-MULLER à cathode externe remplis de méthane.* Journ. Phys. et Rad. (1949), 10, 411.
- (24) S.C. CURRAN et E.R. RAE : *Some properties of counters with beaded wires.* Journ. Sci. Instr. (1947), 24, 233.
- (25) L.G. PARRATT, C.F. HEMPSTEAD & E.L. JOSSEM : *Plain and beaded wire GEIGER counters for X rays.* Rev. Sci. Instr., (1952), 23, 1.
- (26) I. KUMABE et M. SONODA : *On the external cathode proportional counter.* Journ. Phys. Soc. Japan, (1954), 9, 877.
- (27) P. BASSI et E. BERETTA : *Sur le fonctionnement des compteurs à cathode externe (en Italien).* Il Nuovo Cimento, (1949), 6, 585.
- (28) E. BERETTA et A. ROSTAGNI : *Décharges secondaires dans les compteurs de GEIGER-MULLER et coefficient de libération des électrons (en Italien).* Il Nuovo Cimento, (1949), 5, 391.
- (29) J.L. PUTMAN : *Analysis of spurious counts in Geiger counters.* Proc. Phys. Soc., (1948), 61-A, 312.
- (30) R. FAVRE, C. HAENNY et M. DEGALLIER : *Sur le compteur MAZE (résumé).* Helv. Phys. Acta, (1949), 22, 621
- (31) R. FAVRE et C. HAENNY : *Construction des compteurs MAZE et leurs caractéristiques de 0° à 50° C.* Helv. Phys. Acta, (1953), 26, 53.
- (32) A.L. COCKROFT et J.M. VALENTINE : *The properties of proportional tubes and ion-chambers with glass envelopes and external graphite electrodes.* Journ. Scien. Instr., (1950), 27, 262.
- (33) M. SCHERER et E. VIEILLE : *La propagation de la décharge dans les compteurs GEIGER-MULLER à cathode externe.* C.R. Acad. Sci. (1950), 231, 964.
- (34) J.D. CRAGGS et A.A. JAFFE : *Discharge spread in GEIGER counters.* Phys. Rev., (1947) 72, 784.
- (35) G. BARRERE : *Compteurs de GEIGER à xénon.* C.R. Acad. Sci. (1951), 233, 1442.
- (36) G. BARRERE : *Efficacité théorique de compteurs à rayons X.* Journ. Phys. et Rad., (1951) 12, 107.
- (37) M. YASIN, R. AHMED et P.S. GILL : *An external cathode hard glass GEIGER-MULLER tube.* Nature, (1951) 167, 647. Indian Journ. Phys., (1951), 25, 182.
- (38) P. ROTHWELL et D. WEST : *Proportional counters in a magnetic field : an investigation of the nuclear isomerism in ^{80}Br .* Proc. Phys. Soc., (1950), 63-A, 539.
- (39) P. ROTHWELL : *Fluctuations in the energy loss of fast electrons in a proportional counter.* Proc. Phys. Soc., (1951), 64-B, 911.

- (40) J. LABEYRIE : *Photocompteurs de GEIGER-MULLER à cathode de ferro-nickel pour rayons ultra-violet*s. Journ. Phys. et Rad. (1951), 12, 569.
- (41) G. FAUNY, M. FAUNY et M. SCHERER : *Les compteurs GEIGER-MULLER à cathode externe avec remplissage possédant un très faible coefficient de température*. Journ. Phys. et Rad., (1951), 12, 954.
- (42) M.L. MAC-KNIGHT et R.L. CHASSON : *Construction of external cathode GEIGER counters*. Rev. Sci. Instr. (1951), 22, 700.
- (43) R.O. JENKINS et R.W. TAYLOR : *Construction of external cathode GEIGER counters*. Rev. Sci. Instr. (1953), 24, 73.
- (44) A. ARON : *Annales de l'Académie du Brésil (Sciences)*, (1951), 23, n° 2, 187.
- (45) B. GROSS et A. ARON : *Counters and ionisation chambers with external electrodes*. Simposio sobre novas técnicas de pesquisa em Fisica (15-29 juillet 1952) p.15
- (46) B. GROSS : *Erfahrungen mit zählern un ionisation kammern mit aussen elektroden*. Phys. Verhandl. (1952), 3, 207.
- (47) B. GROSS : *Annales de l'Académie du Brésil (Sciences)*, (1948), 20, n° 4, p. III annexe.
- (48) H. SCHWARZ : *Techniques of construction of GEIGER MULLER counters in the C.B.P.F (résumé)*. Simposio sobre novas técnicas de pesquisa em Fisica (15-29 juillet, 1952 , p. 15.
- (49) H. SCHWARZ : *On the photosensibility of glass self-quenching GEIGER-MULLER counters with external cathode*. Notas de Fisica, n° 7, Rio-de-Janeiro (1952).
- (50) H. SCHWARZ : *Die lich tempfindlichkeit von selbstloschen den GEIGER zählern aus glas mit aussenkathode*. Zeits. f. Phys. (1953), 134, 540.
- (51) A. ARON : *Photoeffect of counters with external cathode (résumé)*. Simposio sobre novas técnicas de pesquisa em Fisica (15-29 juillet 1952), p. 16.
- (52) M. GRENON et R. VIALARD : *Compteurs à remplissage interne pour la numération de particules beta de faible énergie*. Journ. Phys. et Rad. (1952), 13, 310.
- (53) M. GRENON et R. VIALARD : *Méthodes pour la détermination du tritium*. Journal Chim. Phys. (1952), 49, 623.
- (54) D. BLANC : *Remplissages hydrogène-méthylal pour compteurs de GEIGER-MULLER à cathode externe*. Journ. Phys. et Rad., (1952), 13, 588.
- (55) L. MELANDER : *On the determination of radioactive hydrogene*. Acta Chem. Scandinavica, (1948), 2, 440.
- (56) R. MEUNIER, M. BONPAS et J.P. LEGRAND : *Compteurs de GEIGER à comptage interne contenant de la vapeur d'eau tritiée*. Journ. Phys. et Rad., (1955), 16, 148.
- (57) M.R. BHIDAY, V.G. BHIDE et V.S. ASOLKAR : *JOSHI effect in MAZE counter type discharge tube*. Proc. of the fortieth Indian Science Congress, Lucknow (1953), III Calcutta Indian Science Congress Ass., (1953), 169.
- (58) D. LATHAM, B.D. POWER et N.T.M. DENNIS : *An assesment of some working fluids for diffusion pumps*. Vacuum 2, Londres (1952).
- (59) K. HASHIMOTO : *Notes on the production of GEIGER-MULLER counters and the discharge mechanism*. Journ. Phys. Soc. Japan, (1948), 2-3, 153.

- (60) O. PARKASH : *On the temperature variations in alcohol argon filled G.M. counters* Phys. Rev. (1950), 80, 303.
- (61) M. GRENON : *Etude du fonctionnement des compteurs à cathode externe. Influence du traitement thermique et rôle de l'eau liée au verre.* C.R. Acad.Sci.(1953) 236, 1772.
- (62) H. SCHWARZ : *Erzeugung, erhöhung und aufrechterhaltung des vakuums ohne pumpen.* Chapitre D dans R. JAECKEL : *Kleinste drucke* Springer verlag, Berlin (1950)
- (63) S. MICHALAK, B. MOWCZAN et A. ZAWARZKI : *L'allongement du palier des compteurs GEIGER-MULLER à cathode en verre.* Acta. Phys. Polonica, (1954), 13, 145.
- (64) G. BOUTRY : *Cours de Physique du Vide, 1^o année, Conservatoire National des Arts et Métiers*, p. 178.
- (65) S. IGNATOWICZ et R.D. PHILLIPS : *Effects of hydrogen sulphide on the plateau of a GEIGER-MULLER counter.* Research, (1951), 4, 533.
- (66) D. KEEFE, T.E. NEVIN, C.B.A. MAC-CUSKER et N.A. PORTER : *Gazeous contamination of GEIGER-MULLER counters*, Nature, (1952), 170, 501.
- (67) W.D.B. SPATZ : *The factors influencing the plateau characteristics of self-quenching GEIGER-MULLER counters.* Phys. Rev., (1943), 64, 236.
- (68) A.B. VAN RENNES : *Pulse amplitude analysis in nuclear research.* Voltage discriminators. Nucleonics, (1952), 10, 7, 20.
- (69) R. VAZE : *An electronic instrument for rapidly tracing the plateau of GEIGER - MULLER counters.* Rev. Sci. Instr., (1949), 20, 746.
- (70) K.H. LAUTERJUNG et L. NIKLAS : *Un appareil pour l'enregistrement automatique des caractéristiques de compteurs.* Zeits. Naturforsch. Dtsch, (1951) 69, 6.
- (71) G.J. CRITS et G.C. NEWLIN : *Recording type automatic Geiger tube calibrator.* A.E.C. Technical Information Division AECD-2025 (Avril 1948). (Déclassifié le 3 juin 1948).
- (72) J.D. CRAGGS, W. BOSLEY et A.A. JAFFE : *Some experiments with GEIGER-MULLER counters.* Journ. Sci. Instr., (1948), 25, 67.
- (73) M. CHAUDHRI et A.G. FENTON : *Some experiments with adjustable GEIGER-MULLER counters.* Proc. Phys. Soc., (1948), 60-A, 183.
- (74) A.G. FENTON et E.W. FULLER : *Further experiments with an adjustable GEIGER-MULLER counter.* Proc. Phys. Soc. (1949), 62-A, 32.
- (75) D. BLANC : *Compteurs de GEIGER-MULLER à cathode externe de petit diamètre.* Journ. Phys. et Rad., (1954), 15, 590.
- (76) S.C. CURRAN et J.D. CRAGGS : *Counting tubes.* Butterworths Scientific Publications, Londres, (1949), p. 119.
- (77) J.R. DUNNING et S.M. SKINNER : *Ionising particle counters.* Rev. Sci. Instr., (1935), 6, 245.
- (78) A.H. BARNES : *Thin-wall GEIGER-MULLER counters.* Rev. Sci. Instr. (1936), 7, 107.
- (79) J.C. WANG, J.F. MARVIN et K.W. STENSTROM : *A modification of the BARNES' GEIGER-MULLER counter.* Rev. Sci. Instr., (1942), 13, 81.
- (80) L.F. CURTISS : *Miniature GEIGER-MULLER counters.* Journ. Res. Bur. Standards, Washington (1943), 30, 157.

- (81) E. STRAJMAN : *Small mica-window GEIGER-MULLER counter for measurements of radioactive isotopes "in vivo"*. Rev. Sci. Instr., (1946), 17, 232.
- (82) C.V. ROBINSON : *Small probing counters*. Rev. Sci. Instr., (1950), 21, 82.
- (83) E.R. RAE : *A thin windowed miniature GEIGER-MULLER counter*. Journ. Sci. Instr., (1950), 27, 143.
- (84) C.V. ROBINSON et R.E. PETERSON : *A study of small ether-argon GEIGER-MULLER counters*. Rev. Sci. Instr. (1948), 19, 911.
- (85) W. DREBLOW et W. STREME : *GEIGER-MULLERsche miniatur- zählrohre*. Zeits. Naturf. (1952), 7-b, 161.
- (86) A.M. BAPTISTA, R.H. CORDEIRO et J.P. GALVAO : *Estudo experimental de detectores de cátodo externo na região de GEIGER-MULLER*. Rev. da Fac. Ciencias de Lisboa, (1955), 4-B, 5.
- (87) D. BLANC : *Au sujet du volume sensible des compteurs de GEIGER-MULLER à cathode externe*. Il nuovo Cimento, (1955), 1, 1280.
- (88) N.M. BLACHMAN : *The counting volume of a cylindrical ionisation chamber*. Rev. Sci. Instr. (1949), 20, 477.
- (89) R. ITO : *The end effect in GEIGER-MULLER counters*. Journ. Phys. Soc. Japan , (1952), 7, 256.
- (90) K. GREISEN et N. NERESON : *Inefficiency and other sources of error in cosmic rays measurements with self-quenching counters*. Phys. Rev. (1942), 62, 316
- (91) A.G. ENGELKEMEIR et W.F. LIBBY : *End and wall corrections for absolute beta-counting in gas counters*. Rev. Sci. Instr. (1950), 21, 550.
- (92) A.L. COCKROFT et S.C. CURRAN : *Elimination of the end effects in counters*. Rev., Sci. Instr., (1951), 22, 36.
- (93) H.L. DE VRIES et G.W. BARENDSEN : *On the breakdown of GEIGER-MULLER counters at high overvoltages*. Physica, (1952), 18, 927.
- (94) M. CELMA, J.A. GARCIA-FITE et R. SEGOVIA-TORRES : *Contadores de catodo externo*. Ann. Real. Sociedad Esp. de Física y Química (1953), 49-A, 7.
- (95) A. ARON : *Über MAZE zähler*. Zeits. f. Physik, (1953), 134, 622.
- (96) D. BLANC : *Le comportement des compteurs de GEIGER-MULLER à graphitage externe aux taux de comptage élevés*. Journ. Phys. et Rad., (1954), 15, 693.
- (97) S.A. KORFF : *Electron and Nuclear counters. Theory and use*. D. Van Nostrand , New-York, (1955).
- (98) A.D. KRUMBEIN : *Self-quenching counters containing small amounts of polyatomic constituent*. Rev. Sci. Instr., (1951), 22, 821.
- (99) H. KUMAGAI, K. SHIMODA, I. OGAWA, Y. TORIKAI, T. KODAMA : *Discharge mechanism of GEIGER-MULLER counters II. Experiments with a separated cathode counter*, Journ. Phys. Soc. Japan, (1949), 4, 44.
- (100) D. BLANC : *Influence de la région de proportionnalité limitée sur la valeur du seuil de GEIGER des compteurs à cylindre de verre et graphitage externe*. C.R. Acad. Sci. (1954), 239, 1621.
- (101) P.J. CAMPION : *A cloud chamber study of some aspects of the GEIGER discharges*. Proc. Phys. Soc., (1954), 67-A, 1095.

- (102) S.C. CURRAN et J.D. CRAGGS : *Counting tubes*. Butterworths Scientific Publications, Londres (1949), p. 21.
- (103) N.B. BALAAM : *GEIGER counter tubes.: a production range*. Electron. Engineering (1952), 12, 558.
- (104) D. BLANC : *Caractéristiques de fonctionnement des compteurs à cathode externe remplis de méthylal pur*. Il Nuovo Cimento, (1954), 11, 231.
- (105) D. BLANC : *Sur la mesure du temps de restitution des compteurs de GEIGER-MULLER pour le seuil de GEIGER*. Il Nuovo Cimento, (1955), 3, 504.
- (106) COLLECTIF : *Standards on gas-filled radiation counter tubes. Definition of terms* (1952). Proc. Inst. Radio-Engrs, (1952), 40, 924.
- (107) D.H. WILKINSON : *Remark on the spacial sheath of GEIGER counters*. Rev. Sci. Instr., (1952), 23, 463.
- (108) H.G. STEVER : *The discharge mechanism of fast GEIGER-MULLER counters from the dead-time experiments*. Phys. Rev. (1942), 61, 38.
- (109) A.G.M. VAN GEMERT, H. DEN HARTOG et F.A. MULLER : *Measurements on self-quenching GEIGER-MULLER counters I*. Physica, (1942), 9, 556.
- (110) A.G.M. VAN GEMERT, H. DEN HARTOG et F.A. MULLER : *Measurements on self-quenching GEIGER-MULLER counters II (Concluded)*. Physica, (1942), 9, 658.
- (111) H. DEN HARTOG : *Argon-alcohol counters*. Thèse, Amsterdam, (1948).
- (112) H. DEN HARTOG : *Speed of operation of GEIGER-MULLER counters*. Nucleonics, (1949) 9, 33.
- (113) L.B. LOEB : *Fundamental processes of electrical discharges in gases*. John Wiley and sons, New-York, (1939)
- (114) A.V. HERSHEY : *Measurements of the mobility of Potassium ions at high field intensity and low pressure*. Phys. Rev. (1939), 56, 908.
- (115) M.J. DRUYVESTYEN et F.M. PENNING : *The mechanism of electrical discharges in gases of low pressure*. Rev. Mod. Phys., (1940), 12, 87.
- (116) L.B. LOEB : *Kinetic theory of gases*. Mac-Graw Hill, New-York, (1934).
- (117) S.C. CURRAN et J.D. CRAGGS : *Counting tubes*. Butterworths Scientific Publications, Londres, (1949), p. 9.
- (118) B.B. ROSSI et H.H. STAUB : *Ionisation chambers and counters. Experimental technique*. Mac-Graw Hill Book, Inc. New-York, (1949), p. 19.
- (119) H. DEN HARTOG et F.A. MULLER : *Ion mobilities in GEIGER-MULLER counters*. Physica (1949), 15, 789.
- (120) J.A. SIMPSON Jr. : Thèse, Université de New-York, (1944).
- (121) P.B. WEISZ et W.P. KERN : *Measurements of behaviour and mobility of polyatomic ions*. Phys. Rev., (1949), 75, 899.
- (122) H. KUMAGAI, K. SHIMODA, I. OGAWA, Y. TORIKAI et T. KODAMA : *Discharge mechanism of GEIGER-MULLER counters, the motion and quantity of positive ions*. Journ. Phys. Soc. Japan, (1949), 4, 89.
- (123) S.A. KORFF et H. KALLMANN : *Electron and nuclear counters. Theory and use*. Seconde édition. D. Van Nostrand (New-York), 1955, p. 175.

- (124) D.H. WILKINSON : *The GEIGER discharge*. Phys. Rev., (1948), 74, 1417.
- (125) D. BLANC et H. ZYNGIER : *Application de la théorie de WILKINSON aux compteurs de GEIGER-MULLER à cathode externe*. Phys. et Rad., (1954), 15, 1-A.
- (126) A. NAWIJN : *Het gasontladings mechanisme van den GEIGER-MULLER teller*. Drukkerij Hoogland, Delft, (1943).
- (127) W.E. RAMSEY et E.L. HUDSPETH : *Some discharge characteristics of self-quenching counters*. Phys. Rev., (1942), 61, 95.
- (128) W.E. RAMSEY et W.L. LEES : *Further confirmation of the MONTGOMERY theory of counter discharge*. Phys. Rev., (1941), 60, 411.
- (129) E. WANTUCH : *Velocity of propagation of the discharge in GEIGER-MULLER counters*. Phys. Rev. (1947), 71, 646.
- (130) H. SALTZMANN et C.G. MONTGOMERY : *The velocity of propagation of the discharge in GEIGER-MULLER counters*. Rev. Sci. Instr., (1950), 21, 548.
- (131) A. TROST : *Etude de tubes compteurs à l'aide d'un tube de BRAUM (en allemand)*. Zeits. Techn. Phys., (1935), 16, 407.
- (132) G.L. LOCHER : *GEIGER-MULLER counters for particular uses*. Phys. Rev., (1936), 50, 1099.
- (133) M. JEZEWSKI et M. MIESOWICZ : *Etude des compteurs de GEIGER-MULLER*. Journ. Phys. et Rad., (1940), 1, 221.
- (134) A. EHMERT et A. TROST : *Eine neue methode zur registrierung von zählrohrkoinzidenzen, diskussion und messung der bei koinzidenzzählungen zu berücksichtigenden korrektoren*. Zeits. f. Physik., (1936), 100, 553.
- (135) G.D. ROCHESTER et L. JANOSSY : *The operation and efficiency of the fast GEIGER-MULLER counters*. Phys. Rev., (1943), 63, 52.
- (136) G.D. ROCHESTER et C.B.A. MAC-CUSKER : *Effect of the pressure of alcohol vapour on the operation of the fast GEIGER-MULLER counter*. Nature, (1945), 156, 386.
- (137) S.J. DU TOIT : *The effect of the composition of the gaz mixture in self-quenching GEIGER-MULLER tubes on their plateau characteristics*. Phys. Rev. (1948), 73, 1473.
- (138) K.H. MORGANSTERN, C.L. COWAN et A.L. HUGUES : *A note on ethylene self-quenching GEIGER-MULLER counters*. Phys. Rev., (1948), 74, 499.
- (139) A.S. KESTON : *Stable self-quenching GEIGER-MULLER counters containing organo-metallic compounds*. Rev. Sci. Instr., (1943), 14, 293.
- (140) H.A. GLASSFORD et R.L. MACKLIN : *Tetramethyl-lead filled GEIGER counters*. A.E.C. Technical Information Division, AECD-2003, Juillet 1944, déclassifié le 24 mai 1948.
- (141) C.L. MEAKER, C.S. WU et L.J. RAINWATER : *Characteristics of GEIGER counters filled with tetramethyl-lead vapor*. Phys. Rev., (1948), 73, 1240.
- (142) P. HUBER, E. BALDINGER et W. HUNTZINGER : *Über eine neue zählrohr-entladung bei stark ionisierenden strahlen*. Helv. Phys. Acta, (1947), 20, 525.
- (143) E. FUNFER et H. NEUERT : *Experimentelle untersuchungen über das verhalten von zählrohren mit reiner dampffüllung*. Helv. Phys. Acta, (1950), 23, supplément 3, 142.

- (144) E. FUNFER et H. NEUERT : *Über grosse impulse bei zählrohren mit dampffüllung.* Zeits. f. Physik, (1950), 128, 530.
- (145) E. FUNFER et H. NEUERT : *Über das verhalten von zählrohren mit reiner dampffüllung im auslöse und proportionalbereich.* Zeits. Angew. Phys. Dtsch, (1950), 2, 241.
- (146) H. NEUERT : *Über die entstehung eines auslösebereiches in zählrohren mit reiner dampffüllung.* Zeits. f. Physik, (1951), 129, 27.
- (147) H. NEUERT : *Über den mechanismus des entladungsvorgangs beiden übergrossen impulsen in reinen dampfzählern.* Ann. der Phys., (1951), 6, 341.
- (148) R. AKPINAR : *Sur la propagation de la décharge dans les tubes compteurs à réponse proportionnelle.* Rev. Fac. Sciences, Univ. Istambul (1949), A-14, 281.
- (149) S. AKPINAR : *Sur le pouvoir de résolution et l'anisotropie du compteur d'impulsions à réponse proportionnelle.* Rev. Fac. Sci. Univ. Istambul, (1948), A-13, 165.
- (150) H. NEUERT : *Über den beginn des GEIGER-bereichs bei Methan-zählern.* Zeits. f. Naturf., (1950), 5, 231.
- (151) A. TROST : *Un nouveau mode de fonctionnement des compteurs avec pouvoir de résolution élevé.* Zeits. Angew. Phys. Dtsch, (1950), 2, 286.
- (152) E. BAGGE et J. CHRISTIANSEN : *Der parallelplattenzähler als selbstlöschendes teilchenmessgerät.* Naturwissenschaften, (1952) 39, 298.
- (153) E. BAGGE et J. CHRISTIANSEN : *Selbstlöschende parallelplatten-dampfzähler bei spannungen unterhalb der statischen durchschlagsferdstärke.* Zeits.f.Angew. Phys. (1952), 4, 326.
- (154) D. BLANC : *Le fonctionnement des compteurs à étincelles.* Journ. Phys. et Rad. (1954), 15, 483.
- (155) H. GEIGER et O. HAXEL : *Brevet allemand n° 682.657, (1937)*
- (156) R. RICHARD-FOY : *Contadores de bromo.* Rev. Mexicana de Fisica, (1955), 2, 75.
- (157) H. NEUERT et J. GEERK : *Über des verhalten von zählrohren mit NH₃ fullung.* Anna. der Phys., (1950), 8, 93.
- (158) B.H. DAGGETT : *A low density proportional counting gas.* Mound Laboratory MLM-688, (20 février 1952)
- (159) P.B. WEISZ : *Starting potential of the GEIGER-MULLER counter discharge.* Phys. Rev. (1948).74, 1807.
- (160) H. BERETTA et A.M. BIANCHI : *Libération d'électrons secondaires par des ions polyatomiques et phénomènes de vieillissement dans les compteurs de GEIGER-MULLER à autocapture.* C.R. Acad. Naz. dei Lincei, (décembre 1951), 11.
- (161) J.E. PURVIS : *The absorption spectra of various aldehydes and ketones and some of their derived compounds.* Journ. Chem. Soc. (1925), 1, 9.
- (162) L. COLLI et U. FACCHINI : *Quenching of photons in argon-CO₂ proportional counters.* Physica, (1952), 18, 1272.
- (163) P. WALDEN : *Über organische lösungs und ionisierungs-mittel I.* Zeits. f.Phys. Chemie, (1903), Verlag von Wilhem Engelmann, Leipzig.

- (164) S. FINE et C.L. HENDEEX : *Instability in methylal quenched X ray detectors.* Rev. Sci. Instr., (1954), 25, 830.
- (165) Société N.V. PHILIPS' Gloeilampenfabrieken : *Tube compteur proportionnel.* Demande de Brevet français 683.148, (6 janvier 1955).
- (166) S.C. BROWN : *A theory of the initial avalanche in the breakdown of a discharge counter in helium.* Phys. Rev. (1942), 62, 244.
- (167) C.L. HAINES : *Starting potential of GEIGER-MULLER counters.* Rev. Sci. Instr., (1936), 7, 411.
- (168) D. BLANC et J. UEBERSFELD : *Sur le rôle du constituant polyatomique dans les compteurs à cathode externe.* C.R. Acad. Sci., (1953), 236, 2228.
- (169) J.W. KEUFFEL : *Parallel-plates counters.* Rev. Sci. Instr., (1949), 20, 202.
- (170) B. TANYEL : *An improvement effect of the plateau in xylène and argon filled GEIGER counters.* Phys. Rev. (1950), 77, 843.
- (171) ANONYME : *GEIGER-MULLER counters for high-temperature work.* Instr. (1951) 24, 1067
- (172) S.A. KORFF, W.D.B. SPATZ et N. HILBERRY : *Temperature coefficients in self-quenching counters.* Rev. Sci. Instr. (1942), 13, 127.
- (173) G. JOYET et M. SIMON : *Origine de l'effet de température sur le tube de GEIGER-MULLER à alcool-argon,* Helv. Phys. Acta, (1948). 21, 180.
- (174) O. PARKASH : *On the temperature dependence of counter characteristics in self-quenching GEIGER-MULLER counters.* Phys. Rev., (1949), 76, 568.
- (175) O. PARKASH et P.L. KAPUR : *On the temperature dependence of counter characteristics in self-quenching GEIGER-MULLER counters.* Proc. Phys. Soc., (1950), 63-A, 457
- (176) W.R. LOOSEMORE et D. TAYLOR : *Temperature dependence of counter characteristics in self-quenching GEIGER-MULLER counters.* Proc. Phys. Soc. (1950), 63-B, 728.
- (177) M. KIMURA : *Temperature effects in GEIGER-MULLER counters.* Phys. Rev. (1950), 80, 761.
- (178) M. KIMURA : *On the temperature effects of spurious counts in GEIGER-MULLER counters.* Journ. Phys. Soc. Japan, (1951), 6, 141.
- (179) M. SONODA et K. KIMURA : *Congrès Soc. Phys. Japon, (2 Avril 1950)*
- (180) G. FUJIOKA, I. KITA et O. MINAKAWA : *On the temperature effects of GEIGER-MULLER counters.* Journ. Phys. Soc. Japan, (1951), 6, 103.
- (181) O. STANISZ : *The temperature dependence of the working of GEIGER-MULLER counters.* Acta Phys. Polonica, (1951), 11, 140.
- (182) A. DAUDIN et J. DAUDIN : *Effet de température des compteurs et des tubes radio.* Journ. Phys. et Rad., (1951), 12, 564.
- (183) C. CASTAGNOLI, G. CREA et A. GIGLI : *Effetto della temperatura sui contatori di GEIGER-MULLER interamente metallici.* Rev. Sem. del Instituto di Fisica della Univ. Roma, (1952), 2, n° 78.
- (184) R. SEIDL et F. ROUBINEK : *The temperature dependence of spurious counts in GEIGER-MULLER counters.* Czechoslov. Journ. Phys., (1952), 1, 207.
- (185) R. SEIDL : *Spurious random pulses in GEIGER-MULLER counters.* Czechoslov. Journ. Phys., (1952), 1, 160.

- (186) C.P. JOSHI : *On the temperature effects in GEIGER-MULLER counters.* Indian Journ. Phys. (1953), 27, 393.
- (187) K. GROTOWSKI, A.Z. HRYNKIEWICZ et H. NIEWODNICZANSKI : *Effect of thermo-ionic emission at room temperatures in photosensitive GEIGER-MULLER tubes.* Acad. Polon. Sciences, (1953), 1, 109.
- (188) J.H. MADER : *Die temperaturabhängigkeit der charakteristiken dampfgefüllter GEIGER-MULLER zählrohre.* Zeits.f. Physik, (1954), 137, 216.
- (189) R. MEUNIER, M. BONPAS et J.P. LEGRAND : *Mouvement propre d'origine thermoionique des compteurs GEIGER.* Journ. Phys. et Rad., (1955), 16, 145.
- (190) D. BLANC et R. VISTE : *Sur le coefficient de température des compteurs de GEIGER-MULLER à cathode externe contenant une vapeur organique.* C.R. Acad. Sci.(1955) 240, 2405.
- (191) G. MEDICUS : *Über die eigenerregung von GEIGER-MULLERschen zählrohren.* Zeits. f. Physik, (1936), 103, 76.
- (192) R.D. EVANS et R.A. MUGELE : *Increased gamma-ray sensitivity of tube counters and the measurement of the thorium content of ordinary materials.* Rev.Sci. Instr., (1936), 7, 441.
- (193) H. HABERLAND et W. WALCHER : *Die untersuchung der glühelektronenemission an einzelnen elektronen mit einem geleizten zählrohr.* Zeits. f. Physik, (1937) 105, 348.
- (194) D.B. COWIE : *Temperature dependence of G.M. counter. characteristics.* Phys. Rev., (1936), 50, 385.
- (195) R.O. JENKINS et R.W. TAYLOR : *Ethyl-formate as a quenching agent in GEIGER-MULLER counter tubes.* Journ. Sci. Instr., (1950), 27, 254.
- (196) C.N. HINSHELWOOD et H. HARTLEY : *The influence of temperature on two alternative modes of decomposition of formic acid.* Jour. Chem. Soc. Londres, (1923), 123, 1333.
- (197) E. FRANKLIN et W.R. LOOSEMORE : *A survey equipment using low-voltage halogen-quenched GEIGER-MULLER counters.* Proc. Inst. Electr. Engrs, (1951), 98-II, 237.
- (198) G. GIMENEZ et J. LABEYRIE : *Fabrication et propriétés des compteurs de GEIGER remplis à la vapeur de brome et destinés à la prospection β et γ .* Il Nuovo Cimento, (1952), 9, 169.
- (199) B. VALLANTIN : *Les compteurs de GEIGER à basse tension.* L'onde électrique (1954), 34, 431.
- (200) S.S. FRIEDLAND : *On the life of self-quenching counters.* Phys. Rev., (1948), 74, 898.
- (201) S.S. FRIEDLAND et H.S. KATZENSTEIN : *The dissociation of éthyl-acetate in a GEIGER-MULLER counter.* Phys. Rev., (1951), 84, 591.
- (202) F.W. BROWN III, P.J. HARRIS et A.L. KLEIN : *Life tests on self-quenching GEIGER-MULLER tubes with halogen and polyatomic gases as quenching agents.* Bull.Amer. Phys. Soc., (1949), 24, 2-9.
- (203) H. NEUERT et H. GUTBIER : *Über zählrohre mit methyl-enhalogen als dampfzusatz.* Zeits. f. Physik, (1952), 133, 451.

- (204) E.C. FARMER et S.C. BROWN : *A study of deterioration of methane-filled GEIGER-MULLER counters.* Phys. Rev., (1948), 74, 902.
- (205) H. SHERMAN et J.R. HEIRTZLER : *Long-life GEIGER counters.* Journ. Sci.Industr. Research, (1953), 12, 370.
- (206) H. ELLIOT : *The effect of external quenching on the life of argon-alcohol counters.* Proc. Phys. Soc., (1949), 62-A, 369
- (207) J.A. SIMPSON : *Reduction of the natural insensitive time in GEIGER-MULLER counters.* Phys. Rev., (1944), 66, 39.
- (208) C.W. SHERWIN : *Short time delays in GEIGER counters.* Rev. Sci. Instr., (1948) 19, 111.
- (209) A.L. HODSON : *Reduction of "insensitive time" in GEIGER-MULLER counters.* Jour. Sci. Instr. (1948), 25, 11.
- (210) W.C. PORTER et W.E. RAMSEY : *A circuit for the limitation of discharge in GEIGER-MULLER counters.* Journ. Franklin Inst., (1952), 254, 153.
- (211) S.A. KORFF et A.D. KRUMBEIN : *Tests of self-regenerating fillings for GEIGER counters.* Phys. Rev., (1949), 76, 1412.
- (212) W.C. ROESCH et J.S. REDDIE : *GEIGER-MULLER counter tube age characteristics.* Bull. Amer. Phys. Soc. (1954), 29, 19.
- (213) S.S. FRIEDLAND et H.S. KATZENSTEIN : *Factors influencing the life of self-quenching counters.* Rev. Sci. Instr., (1953), 24, 109.
- (214) R.L. CHASSON et M.L. MAC-KNIGHT. *Ethylene and ethyl-alcohol as quenching agents in external cathode GEIGER counter.* Rev. Sci. Instr. (1953), 24, 212.
- (215) A. DAUDIN et J. DAUDIN : *Les gerbes d'AUGER dans l'atmosphère.* Journ. Phys. et Radium, (1953), 14, 169.
-

TABLE ALPHABETIQUE DES AUTEURS

Les nombres entre parenthèses renvoient aux références de la Bibliographie, et ceux entre virgules aux pages du texte.

A

AHMED R. (37), 17, 51, 67,
 AKPINAR R. (148), 109,
 AKPINAR S. (149), 109,
 ARON A. (44), (45), (51), (95), 18, 19, 51, 60, 91, 95,
 ASOLKAR V.S. (57), 20,

B

BAGGE E. (152), (153), 109,
 BALAAM N.B. (103), 60, 97, 133, 136, 138,
 BALDINGER E. (142), 108, 109,
 BAPTISTA A.M. (86), 43,
 BARENDSEN G.W. (93), 47,
 BARNES A.H. (78), 41, 42,
 BARRERE G. (35), (36), 17,
 BASSI P. (27), 14, 27, 28, 51,
 BERETTA E. (27), (28), (160), 14, 27, 28, 51, 110, 146,
 BHIDAY M.R. (57), 20,
 BHIDE V.G. (57), 20,
 BIANCHI A.M. (160), 110, 146,
 BLACHMAN N.M. (88), 44,
 BLANC D. (5), (19), (20), (22), (23), (54), (75), (87), (96), (100), (104),
 (105), (125), (154), (168), (190), 1, 11, 12, 13, 15, 17, 20, 39, 41, 44, 45,
 51, 52, 54, 85, 101, 109, 110, 121, 128, 147, 148, 154,
 BONPAS M. (11), (56), (189), 3, 20, 127, 139,
 BOUTRY G. (64), 28,
 BOSLEY W. (72), 41,
 BROWN F.W. III (202), 146,
 BROWN S.C. (166), (204), 112, 147,

C

CAMPION P.J. (101), 55,
 CARLBOM L. (21), 13,
 CASTAGNOLI C. (183), 126, 127,
 CELMA M. (94), 51, 91,
 CHASSON R.L. (42), (214), 18, 27, 39, 148,
 CHAUDHRI M. (73), 41, 46, 111,
 CHRISTIANSEN J. (152), (153), 109,
 COCKROFT A.L. (32), (92), 15, 16, 44,
 COLLI L. (162), 110,

CORDEIRO R.H. (86), 43,
 COWAN C.L. (139), 108,
 COWIES D.B. (194), 131,
 CRAGGS J.D. (34), (72), (76), (102), (117), 17, 41, 56, 76, 82, 83, 101,
 CREA G. (183), 126, 127,
 CRITS G.J. (71), 34,
 CURRAN S.C. (24), (76), (92), (102), (117), 13, 44, 56, 76,
 CURTISS L.F. (80), 42

D

DAGGETT B.H. (158), 110,
 DAUDIN A. (182), (215), 126, 128,
 DAUDIN J. (182), (215), 126, 128,
 DEGALLIER M. (30), 14,
 DENNIS N.T.M. (58), 24,
 DE VRIES H.L. (93), 47,
 DREBLOW W. (85), 42, 146, 155,
 DRUYVESTYEN M.J. (115), 74,
 DUNNING J.R. (77), 41,
 DU TOIT S.J. (137), 108,

E

EHMERT A. (134), 107,
 ELLIOT H. (206), 147,
 ENGELKEMEIR A.G. (91), 44,
 EVANS R.D. (192), 131,

F

FACCHINI U. (162), 110,
 FARMER E.C. (204), 147,
 FAUNY G. (41), 18,
 FAUNY M. (41), 18,
 FAVRE R. (30), (31), 14, 15, 27, 51, 84, 85, 101, 102, 148, 152,
 FENTON A.G. (73), (74), 41, 46, 82, 83, 85, 101, 111,
 FINE S. (164), 110,
 FRANKLIN E. (197), 138,
 FRIEDLAND S.S. (200), (201), (213), 146, 147, 148,
 FUJIOKA G. (180), 126, 127, 135,
 FULLER E.W. (74), 41, 82, 83, 85, 101
 FUNFER E. (143), (144), (145), 109, 113,

G

GALVAO J.P. (86), 43,
 GARCIA-FITE J.A. (94), 51, 91,
 GEERK J. (157), 109, 147,
 GEIGER H. (1), (2), (155), 1, 109,
 GIGLI A. (183) 126, 127,
 GILL P.S. (37), 17, 51, 67,
 GIMENEZ G. (198), 138,
 GLASSFORD H.A. (140), 108, 147,
 GREISEN K. (90), 44,
 GRENON M. (52), (53), (61), 19, 27, 42, 51, 52, 124, 132,
 GROSS B. (45), (46), (47), 18,
 GROTOWSKI K. (187), 126, 139,
 GUTBIER H. (203), 146,

H

HABERLAND H. (193), 131,
 HAENNY C. (30), (31), 14, 15, 27, 51, 84, 85, 101, 102, 148, 152,
 HAINES C.L. (167), 112,
 HARRIS P.J. (202), 146,
 HARTLEY H. (196), 136,
 HARTOG (DEN)H. (109), (110), (111), (112), (119), 72, 75, 76, 101,
 HASHIMOTO K. (59), 25,
 HAXEL O. (155), 109,
 HEIRTZLER J.R. (205), 147,
 HEMPSTEAD C.F. (25), 13,
 HENDEE C.F. (25), 13,
 HERSHEY A.V. (114), 74,
 HILBERRY N. (172), 126, 127,
 HINSHELWOOD C.N. (196), 136,
 HODSON A.L. (209), 147,
 HRYNKIEWICZ A.Z. (187), 126, 139,
 HUBER P. (142), 108, 109,
 HUDSPETH E.L. (127), 83,
 HUGUES A.L. (138), 108,
 HUNZINGER W. (142), 108, 109,

II

IGNATOWICZ S. (65), 28,
 I.R.E. (Normalisation) (106), 90, 145,
 ITO R. (39), 44,

J

JAFFE A.A. (341, (72), 17, 41, 83, 101,
 JANOSSY L. (135), 108,
 JENKINS R.D. (43), (195), 18, 27, 136,
 JEZEWSKI M. (133), 107, 126,
 JOSHI C.P. (186), 126, 127, 141,
 JOSSEM E.L. (25), 13,
 JOYET G. (173), 126, 127,

K

KALLMANN H. (123) 83,
 KAPUR P.L. (175), 126, 127, 128,
 KATZENSTEIN H.S. (201) (213), 146, 148,
 KEEFE D. (66), 28, 136,
 KERN W.P. (121), 76,
 KESTON A.S. (139), 108,
 KEUFFEL J.W. (169), 121,
 KIMURA M. (177), (178), (179), 126, 139
 KITA I. (180), 126, 135,
 KLEIN A.L. (202), 146,
 KODAMA T. (99), (122), 53, 76,
 KORFF S.A. (9), (97), (123), (172), (211), 3, 4, 53, 83, 126, 127, 146,
 147, 151,
 KRUMBEIN A.D. (16), (98), (211), 5, 53, 75, 146, 147,
 KUMABE I. (26), 14,
 KUMAGAI H. (99), (122), 53, 76,

L

LABEYRIE J. (40), (198), 17, 138,
 LATHAM D. (58), 24,
 LAUTERJUNG K.H. (70), 34,
 LEES W.L. (128), 83,
 LEGRAND J.P. (11), (56), (189), 3, 20, 127, 139,
 LIBBY W.F. (91), 44,
 LIEBSON S.H. (13), (14), 3
 LLOYD J.T. (18), 11,
 LOCHER G.L. (132), 107,
 LOEB L.B. (113, (116), 73, 74, 75,
 LOOSEMORE W.R. (176), (197), 126, 127, 134, 138,

M

MAC-CUSKER C.B.A. (66), (136), 28, 108, 112, 136,
 MACKLIN R.L. (140), 108, 147,
 MAC-KNIGHT N.L. (42), (214), 18, 27, 39, 148,

MADER J.H. (188), 126, 127,
 MARVIN J.F. (79), 41,
 MAZE R. (6), (17), 2, 9, 10, 11, 14, 15, 17, 27, 28, 37, 51, 89,
 MEAKER C.L. (141), 108,
 MEDICUS G. (191), 131,
 MELANDER L. (55), 20,
 MEUNIER R. (10), (11), (56), (189), 3, 20, 126, 127, 139,
 MICHALAK S. (63), 27, 51,
 MIESOWICZ M. (133), 107, 126,
 MINAKAWA O. (180), 126, 127, 135,
 MONTGOMERY C.G. (7), (130), 3, 92,
 MONTGOMERY D.D. (7), 3,
 MOON P.B. (15), 5,
 MORGANSTERN K.H. (138), 108,
 MOWCZAN B. (63), 27, 51,
 MUGELE R.A. (192), 131,
 MULLER W. (2), 1,
 MULLER F.A. (109), (110), (119), 72, 75, 76, 101,

N

NAWIJN A. (126), 98,
 NERESON N. (80), 44,
 NEUERT H. (143), (144), (145), (146), (147), (150), (157), (203), 109, 113,
 146, 147,
 NEVIN T.E. (66), 28, 136,
 NEWLIN G.C. (71), 34,
 NIEWODNICZANSKI H. (187), 126, 139,
 NIKLAS L. (70), 34,

O

OGAWA I. (99), (122), 53, 76,
 OLIPHANT M.L.E. (15), 5,

P

PARKASH O. (60), (174), (175), 27, 122, 126, 127, 128, 141,
 PARRATT L.G. (25), 13,
 PENNING F.M. (115), 74,
 PETERSON R.E. (84), 42, 146,
 PHILIPS (brevet) (165), 110,
 PHILLIPS R.D. (65), 28,
 PORTER N.A. (66), 28, 136,
 PORTER W.C. (210), 147,
 POWER B.D. (58), 24,
 PRESENT R.D. (9), 3, 4, 83, 146, 151,
 PURVIS J.E. (161), 110,
 PUTMAN J.L. (29), 14, 147,

R

RAE E.R. (24), (83), 13, 42,
 RAINWATER L.J. (141), 108,
 RAMSEY W.E. (127), (128), (210), 83, 98, 147,
 REDDIE J.S. (212), 148,
 RICHARD-FOY R. (156), 109,
 ROBINSON C.V. (82), (84), 42, 146,
 ROCHESTER G.L. (135), (136), 108, 112,
 ROESCH W.C. (212), 148,
 ROSSI B.B. (118), 76,
 ROSTAGNI A. (28), 14,
 ROTHWELL P. (38), (39), 17,
 ROUBINEK F. (184), 126,
 RUTHERFORD E. (1), 1,

S

SALTZMANN H. (130), 92,
 SCHERER M. (19), (33), (41), 11, 17, 18, 39, 45,
 SCHWARZ H. (48), (49), (50), (62), 19, 27, 125,
 SEGOVIA-TORRES R. (94), 51, 91,
 SEIDL R. (184), (185), 126, 127, 139,
 SHERMAN H. (205), 147,
 SHERWIN C.W. (208), 147,
 SHIMODA K. (99), (122), 53, 76,
 SIMON M. (173), 126, 127,
 SIMPSON J.A. Jr. (120), (207), 76, 147,
 SKINNER S.M. (77), 41,
 SONODA M. (26), (179), 14, 126,
 SPATZ W.D.B. (67), (172), 28, 108, 126, 127, 146, 147,
 STANISZ O. (181), 126, 127,
 STAUB H.H. (118), 76,
 STENSTROM K.W. (79), 41,
 STEVER H.G. (108), 72, 74, 82, 83, 97,
 STRAJMAN E. (81), 42,
 STREMME W. (85), 42, 146, 155,

T

TANYEL B. (170), 121,
 TAYLOR C. (21), 13, 27,
 TAYLOR D. (176), 126, 134,
 TAYLOR R.W. (43), (195), 18, 136,
 TORIKAI Y. (99), (122), 53, 76,
 TROST A. (3), (4), (131), (134), (151), 1, 107, 109, 145, 146, 147,

U

UEBERSFELD J. (168), 121,

V

VALENTINE J.M. (32), 15, 16,
VALLANTINE B. (199), 138,
VAN GEMERT A.G.M. (109), (110), 72, 75, 101,
VAN RENNES A.B. (68), 32,
VAN ZOONEN D. (12), 3, 148,
VAZE R. (69), 34,
VIALARD R. (52), (53), 19, 42, 51, 52, 132,
VIEILLE E. (33), 17,
VISTE R. (190), 128,

W

WALCHER W. (193), 131,
WALDEN P. (163), 110,
WANG J.C. (79), 41,
WANTUCH E. (129), 92,
WEISZ P.B. (8), (121), (124), (159), 3, 76, 82, 108, 110,
WEST D. (38), 17,
WILKINSON D.H. (107), 72, 82, 84,
WISER H.L. (16), 5,
WU C.S. (141), 108

Y

YASIN M. (37), 17, 51, 67,

Z

ZAWADZKI A. (63), 27, 51,
ZYNGIER H. (125), 82, 85, 101

TABLE DES MATIERES

Introduction	1
Première partie	9
Chapitre 1 : Analyse des travaux antérieurs concernant les compteurs à parois de verre et graphitage externe	9
Chapitre 2 : Dispositif expérimental	23
Installation de pompage et de remplissage des compteurs	23
Dispositif électronique de comptage	29
Chapitre 3 : Description et caractéristiques fondamentales des compteurs utilisés	37
Caractéristiques électriques des verres employés	37
Description mécanique des compteurs	38
Réalisation de détecteurs de petit diamètre ...	41
Détermination précise du volume efficace	44
Influence de L/b sur le seuil et la longueur du palier	46
Seconde partie	49
Chapitre 1 : Rôle de la zone terminale de la région de proportionnalité limitée dans les remplissages autocoupeurs .	51
Introduction	51
Mécanisme de la décharge dans la zone de proportionnalité limitée	52
Tailles des impulsions dans la région de proportionnalité limitée	54
Influence sur la valeur externe du seuil de Geiger	55
Choix du seuil du circuit associé	56
Détermination expérimentale de B	58
Limites de validité des résultats précédents ..	63
Directives générales concernant la réalisation et l'utilisation de compteurs pour irradiations intenses .	64
Chapitre 2 : Applications	67
Mesure de la résistivité du verre en fonction de la température	67
Mesure du temps de restitution pour le seuil de GEIGER	69

Troisième partie : Remplissage argon + vapeur organique	
Mécanisme de fonctionnement au dessus du seuil de GEIGER ..	79
Chapitre 1 : Etude théorique	81
Accord des résultats qui précèdent avec le fonc-	
tionnement du compteur au dessus du seuil de GEIGER	81
Détermination précise de V_s	83
Théorie approchée du mécanisme au dessus de V_G ..	87
Calcul théorique complet	91
Chapitre 2 : Vérifications expérimentales	97
Mesure de la quantité caractéristique W	97
Mesure de la charge q par impulsion	101
Quatrième Partie : Compteurs à cathode externe remplis de va-	
peur polyatomique pure	105
Chapitre 1 : Caractéristiques essentielles de fonctionnement.	107
Introduction	107
Choix du composé organique	110
Etude en fonction de la pression du méthylal ...	110
Etude en fonction du taux de comptage	115
Etude en fonction du seuil du circuit associé ..	118
Chapitre 2 : Phénomènes physiques mis en évidence à l'aide de	
remplissages de vapeur pure	121
Vieillessement du compteur après remplissage ...	121
Coefficient de température des compteurs auto-	
coupeurs	126
Cinquième partie : Temps de vie des compteurs à graphitage	
externe contenant une vapeur polyatomique	143
Analyse des recherches antérieures concernant le temps de vie	
des compteurs autocoupeurs	145
Compteurs à cathode interne	145
Compteurs à coque de verre	148
Remplissages autocoupeurs classiques	150
Compteurs de petit diamètre	150
Compteur de dimensions courantes	152

Remplissage de vapeur pure	155
Compteurs de petit diamètre	155
Compteur de dimensions courantes	156
Conclusion générale	159
Remerciements	171
Nomenclature des principaux symboles utilisés	I
Bibliographie	III
Ouvrages généraux traitant des compteurs de GEIGER MULLER. et des compteurs proportionnels	V
Publications citées dans le texte du Mémoire	VII
Table alphabétique des auteurs	XIX

DEUXIEME THESE

Propositions données par la Faculté

LE TRITIUM, ISOTOPE DE MASSE TROIS
DE L'HYDROGENE

VU ET APPROUVE :

Paris, le 14 avril 1956
Le Doyen de la Faculté des Sciences,
J. PERES

VU ET PERMIS D'IMPRIMER

Le Recteur de l'Académie de Paris,

Jean SARRAILH

